

DIVISIÓN DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
POSGRADO EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL

**DETERMINACIÓN DE FACTORES PARA CONSIDERAR
MUROS APOYADOS SOBRE LOSAS COMO CARGAS
EQUIVALENTES UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDAS**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL

P R E S E N T A:

ISMAEL CRUZ MARTÍNEZ

DIRECTOR DE TESIS:

DR. GELACIO JUÁREZ LUNA

MÉXICO, D.F. OCTUBRE DE 2015

Agradecimientos

Primeramente agradezco a mis padres Mario Cruz Antonio y Lucila Martínez Sánchez pues a ellos debo todo lo que soy, gracias por depositar su confianza y entender mis ausencias. Su dedicación hacía mi persona, su apoyo incondicional en todo momento, la educación que me brindaron y los valores que me enseñaron hoy me han hecho una persona de bien. Infinitamente agradezco todo lo que han hecho por mí.

A mis hermanos César Cruz Martínez y Janet Cruz Martínez por su apoyo incondicional y motivación en todo momento para seguir cumpliendo cada uno de mis objetivos.

Con especial énfasis al Dr. Gelacio Juárez Luna por brindarme su apoyo como director de tesis, agradezco la confianza que depositó en mí y la paciencia que me tuvo durante el tiempo que tomó el desarrollo de este trabajo. Su orientación, sus acertados comentarios y dedicación hacía mi hicieron posible la realización de este trabajo. Gracias totales al Dr. Gelacio Juárez Luna.

Al Dr. Luciano Roberto Fernández Sola y al Dr. Ernesto Pineda León como parte de mi jurado evaluador, así mismo, agradezco a ambos su amable ayuda en la revisión de este trabajo y sus acertados comentarios.

A mi alma máter, la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM-Azcapotzalco) por permitirme ser parte de esta Casa Abierta al Tiempo y ofrecerme una educación de calidad.

Al área de estructuras de la Universidad Autónoma Metropolitana por darme la oportunidad de pertenecer al Posgrado en Ingeniería Estructural, sin duda alguna, es un posgrado de calidad. Gracias al cuerpo académico de profesores que lo integran, que de ellos recibí una educación sólida e integral.

Por último, agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico brindado para financiar mis estudios de posgrado.

Índice

OBJETIVOS	13
Objetivo general.....	13
Objetivos específicos.....	13
ORGANIZACIÓN DE LA TESIS	13
1 Introducción.....	14
1.1 INTRODUCCIÓN	14
1.2 ANTECEDENTES.....	15
1.3 EVOLUCIÓN DE LOS MÉTODOS DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE LOSAS	16
1.4 DISCUSIÓN	18
2 Estrategia de mallado.....	19
2.1 INTRODUCCIÓN	19
2.2 TAMAÑO DE MALLA	20
2.2.1 Losa	20
2.2.2 Losa con muro al centro del claro	22
2.3 NÚMERO DE PANELES	24
2.3.1 Descripción	24
2.3.2 Determinación de la configuración de tableros.....	25
2.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS ESTUDIADOS	26
2.5 MÉTODO DE LOS COEFICIENTES NTCC-04	29
2.5.1 Momentos flexionantes debidos a cargas uniformemente distribuidas.....	29
2.6 TABLA DE FACTORES PARA CONSIDERAR CARGAS LINEALES NTCC-04.....	31
3 Modelado de muros sobre losas.....	33
3.1 INTRODUCCIÓN	33
3.2 DESCRIPCIÓN GEOMÉTRICA DE LOS MODELOS	34
3.3 SIMULACIÓN DE MUROS COMO CARGAS LINEALES SOBRE LOSAS	34
3.3.1 Tablero interior - Todos los bordes continuos	34
3.3.2 Tableros de borde.....	35
3.3.3 Tablero de esquina - Dos lados adyacentes discontinuos.....	35
3.3.4 Tableros de extremo	36
3.3.5 Tablero aislado	37
3.4 DESPLAZAMIENTOS	37
3.4.1 Deflexiones diferidas NTCC-04	38
3.5 DETERMINACIÓN DE FACTORES PARA CONSIDERAR CARGAS LINEALES	39
4 Conclusiones y recomendaciones.....	43
4.1 CONCLUSIONES	43
4.2 RECOMENDACIONES.....	44
4.3 TRABAJOS FUTUROS	44
Referencias.....	45

Anexo I Variación de momentos	47
Anexo II Desplazamientos	75
Anexo III Ejemplo de comparación de factores	103
III.1 DESCRIPCIÓN	103
III.2 DETERMINACIÓN DE LA CARGA DE DISEÑO	105
III.3 DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS EN LA FRANJA CORTA (MURO COLOCADO PARALELO AL LADO LARGO)	105
III.4 DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS EN LA FRANJA LARGA (MURO COLOCADO PARALELO AL LADO CORTO)	107

Lista de figuras

Figura 2.1. Losa de 4 x 4 m de borde y 0.10 m de espesor.	20
Figura 2.2. Modelo discretizado con elementos por borde: a) 5, b) 10, c) 20 y d) 40.....	21
Figura 2.3. Curva energía contra número de elementos.	22
Figura 2.4. Modelo losa-muro discretizado con elementos por borde: a) 6, b) 12, c) 24 y d) 48.	23
Figura 2.5. Curva energía contra número de elementos.	24
Figura 2.6. Tipos de tableros.	25
Figura 2.7. Modelos con tableros por borde: a) 3 y b) 5.	26
Figura 2.8. Diagrama de momento en la franja central del panel interior en modelos con 3 y 5 tableros por borde.	26
Figura 2.9. Sistema de referencia para muros paralelos al eje: a) X, b) Y.	27
Figura 2.10. Tipos de colado en losas de concreto reforzado: a) colado monolítico y b) colado no monolítico.	27
Figura 2.11. a) Elemento tipo <i>Shell</i> , b) elemento tipo <i>Frame</i> y c) grados de libertad en el nodo (adaptado de Gutiérrez-Morgado 2014).	28
Figura 2.12. a) Seis grados de libertad acoplados y b) giros desacoplados (adaptado de Gutiérrez-Morgado 2014).	28
Figura 2.13. Modelo de losa con carga: a) lineal debida a un muro y b) equivalente uniformemente distribuida.	31
Figura 3.1. Tablero interior: a) distribución de momentos y b) comparación de momentos.	34
Figura 3.2. Tablero de borde con un lado corto discontinuo: a) distribución de momentos y b) comparación de momentos.	35
Figura 3.3. Tablero de esquina: a) distribución de momentos y b) comparación de momentos.	36
Figura 3.4. Tablero de extremo con tres bordes discontinuos y un lado corto continuo: a) distribución de momentos y b) comparación de momentos.	36

Figura 3.5. Tablero aislado: a) distribución de momentos y b) comparación de momentos.
.....37

Figura 3.6. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero interior. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados de 0.5. a) deflexiones inmediatas, b) desplazamientos totales y c) comparación de desplazamientos (totales y permisibles NTCA-04)......39

Figura I. 1. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero interior. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.47

Figura I. 2. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero interior. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.48

Figura I. 3. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero de borde con un lado corto discontinuo. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.49

Figura I. 4. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero de borde con un lado corto discontinuo. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.50

Figura I. 5. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero de borde con un lado largo discontinuo. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.51

Figura I. 6. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero de borde con un lado largo discontinuo. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.52

Figura I. 7. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero de esquina. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.53

Figura I. 8. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero de esquina. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.54

Figura I. 9. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero de extremo con tres bordes discontinuos y un lado largo continuo. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa

colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0. 55

Figura I. 10. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero de extremo con tres bordes discontinuos y un lado largo continuo. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0. 56

Figura I. 11. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero de extremo con tres bordes discontinuos y un lado corto continuo. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0. 57

Figura I. 12. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero de extremo con tres bordes discontinuos y un lado corto continuo. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0. 58

Figura I. 13. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero aislado. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0. 59

Figura I. 14. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero aislado. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0. 60

Figura I. 15. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero interior. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0. 61

Figura I. 16. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero interior. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0. 62

Figura I. 17. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero de borde con un lado corto discontinuo. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0. 63

Figura I. 18. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero de borde con un lado corto discontinuo. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0. 64

Figura I. 19. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero de borde con un lado largo discontinuo. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.	65
Figura I. 20. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero de borde con un lado largo discontinuo. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.	66
Figura I. 21. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero de esquina. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.	67
Figura I. 22. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero de esquina. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.	68
Figura I. 23. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero de extremo con tres bordes discontinuos y un lado largo continuo. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.	69
Figura I. 24. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero de extremo con tres bordes discontinuos y un lado largo continuo. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.	70
Figura I. 25. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero de extremo con tres bordes discontinuos y un lado corto continuo. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.	71
Figura I. 26. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero de extremo con tres bordes discontinuos y un lado corto continuo. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.	72
Figura I. 27. Diagrama de momentos al centro del claro de un tablero aislado. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.	73
Figura I. 28. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero aislado. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.	74

Figura II. 1. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero interior. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.	75
Figura II. 2. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero interior. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.	76
Figura II. 3. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero de borde con un lado corto discontinuo. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.	77
Figura II. 4. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero de borde con un lado corto discontinuo. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.	78
Figura II. 5. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero de borde con un lado largo discontinuo. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.	79
Figura II. 6. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero de borde con un lado largo discontinuo. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.	80
Figura II. 7. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero de esquina. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.	81
Figura II. 8. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero de esquina. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.	82
Figura II. 9. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero de extremo con tres bordes discontinuos y un lado largo continuo. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.	83
Figura II. 10. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero de extremo con tres bordes discontinuos y un lado largo continuo. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.	84
Figura II. 11. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero de extremo con tres bordes discontinuos y un lado corto continuo. Muro colocado paralelo al lado corto.	

Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0. 85

Figura II. 12. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero de extremo con tres bordes discontinuos y un lado corto continuo. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0. 86

Figura II. 13. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero aislado. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0. 87

Figura II. 14. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero aislado. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0. 88

Figura II. 15. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero interior. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0. 89

Figura II. 16. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero interior. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0. 90

Figura II. 17. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero de borde con un lado corto discontinuo. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0. 91

Figura II. 18. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero de borde con un lado corto discontinuo. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0. 92

Figura II. 19. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero de borde con un lado largo discontinuo. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0. 93

Figura II. 20. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero de borde con un lado largo discontinuo. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0. 94

Figura II. 21. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero de esquina. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.	95
Figura II. 22. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero de esquina. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.	96
Figura II. 23. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero de extremo con tres bordes discontinuos y un lado largo continuo. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.	97
Figura II. 24. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero de extremo con tres bordes discontinuos y un lado largo continuo. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.	98
Figura II. 25. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero de extremo con tres bordes discontinuos y un lado corto continuo. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.	99
Figura II. 26. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero de extremo con tres bordes discontinuos y un lado corto continuo. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.	100
Figura II. 27. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero aislado. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.	101
Figura II. 28. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero aislado. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.	102

Figura III. 1. Distribución de momentos en la franja central corta de un tablero de esquina con relación de lados de 0.9.....	106
Figura III. 2. Distribución de momentos en la franja central larga de un tablero de esquina con relación de lados de 0.9.....	107
Figura III. 3. Croquis de armado del tablero: a) con factores NTCC-04 y b) con factores propuestos.	108

Lista de tablas

Tabla 2. 1. Coeficientes de momentos flexionantes para tableros rectangulares, franjas centrales (adaptado de las NTCC-04).....	30
Tabla 2. 2. Factor para considerar cargas lineales como cargas uniformes equivalentes (adaptado de las NTCC-04).....	31
Tabla 3. 1. Factores propuestos para considerar cargas lineales como cargas equivalentes uniformemente distribuidas.	40
Tabla 3. 2. Factores propuestos para considerar cargas lineales como cargas equivalentes uniformemente distribuidas (obtenida a partir de la tabla de coeficientes propuesta por Gutiérrez Morgado).	42
Tabla III. 1. Cargas muertas para el ejemplo de diseño.	103
Tabla III. 2. Combinaciones de carga para el ejemplo de diseño.....	104
Tabla III. 3. Propiedades de los materiales.....	104
Tabla III. 4. Carga lineal debida al muro de mampostería.	105
Tabla III. 5. Comparación de resultados en la franja corta. Factores NTCC-04 y factores propuestos.	107
Tabla III. 6. Comparación de resultados en la franja larga. Factores NTCC-04 y factores propuestos.	108

Resumen

Se presenta un estudio numérico de losas de concreto reforzado que tienen muros apoyados en su claro, las cuales pueden diseñarse considerando las cargas lineales debidas a muros como cargas equivalentes uniformemente distribuidas multiplicadas por un factor de carga propuesto actualmente por las NTCC-04.

Se obtuvo la distribución de momentos en modelos de tableros de losas perimetralmente apoyadas utilizando software comercial de elementos finitos, considerando diferentes relaciones de lado, tipos de colado y diferentes ubicaciones del muro en el tablero.

La distribución de momentos en la franja central de cada uno de los modelos estudiados se comparó con los calculados con las recomendaciones de las NTCC-04 para considerar el muro como una carga equivalente uniformemente distribuida, observando que en muchos casos se subestiman los momentos de diseño. Además se encontró que los momentos máximos positivos no siempre se presentaron cuando una carga lineal producida por el muro se aplica en el centro de la losa como se esperaría.

De las distribuciones de momento obtenidas numéricamente, se elaboró un catálogo con factores de carga actualizados para considerar las cargas lineales debidas a muros como cargas equivalentes uniformemente distribuidas, los cuales garantizan una estructura segura.

Objetivos

Objetivo general

El objetivo general de este trabajo es determinar factores de carga para considerar la acción de muros sobre losas como cargas equivalentes uniformemente distribuidas, los cuales se calcularán de modelos numéricos de losas discretizadas con elementos finitos. Se pretende que el estudio de estas losas sea consistente, reduciendo y/o eliminando las incertidumbres observadas, que garanticen condiciones servicio y de seguridad estructural.

Objetivos específicos

Se estudiarán los tipos de tableros propuestos en las NTCC-04 considerando que en ellos actúan cargas lineales debidas a muros.

Se estudiarán relaciones de la losa lado corto entre lado largo desde 0.5 hasta 1 en incrementos de 0.1 para todos los tipos de tableros propuestos en las NTCC-04.

Organización de la tesis

La organización de esta tesis se presenta en cuatro capítulos:

- El *Capítulo 1* presenta los antecedentes del análisis y diseño de losas. Además, se introducen los motivos que dan lugar al presente trabajo.
- En el *Capítulo 2* se describe la estrategia de mallado. Con base en la energía de deformación, se determina el tamaño óptimo de malla para el modelado numérico de losas.
- En el *Capítulo 3* se presenta el modelado de muros sobre losas. Se obtienen los momentos en losas cuando tienen muros apoyados en su claro. Los momentos calculados numéricamente se comparan con los obtenidos mediante factores de cargas lineales propuestos por las NTCC-04.

Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones derivadas de esta tesis.

Capítulo 1

Introducción

1.1 Introducción

Las losas son elementos estructurales ampliamente utilizados en la construcción de estructuras, las cuales se utilizan generalmente en edificaciones estructuradas con marcos de acero, marcos de concreto reforzado y muros de mampostería. Los sistemas estructurales de concreto reforzado que utilizan losas se dividen principalmente en dos grupos: losas planas y apoyadas perimetralmente. Las losas planas son aquellas que están apoyadas sobre las columnas sin tener vigas interiores o de borde; se recomienda la construcción de capiteles donde apoya la losa sobre las columnas para evitar problemas de punzonamiento por cortante. Este sistema entró en desuso en la Ciudad de México después del sismo de 1985, por lo que se recomienda la construcción de losas apoyadas, que se caracterizan por estar soportadas en vigas y presentar una mejor respuesta ante carga sísmica, particularmente las que se encuentran sostenidas perimetralmente en su totalidad.

Actualmente las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto (NTCC-04) del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (RCDF-04) proporciona una tabla de coeficientes de momentos para el diseño de losas rectangulares de concreto reforzado. Estos coeficientes son aplicables a losas en las que actúan cargas uniformemente distribuidas. Sin embargo, existen casos en los que sobre las losas actúan otro tipo de cargas como las cargas lineales sobre una franja debidas a los muros que se construyen sobre ellas. Para este caso, los muros sobre losas actúan como cargas lineales, para las cuales las NTCC-04 recomienda considerar las cargas lineales como una carga equivalente uniformemente distribuida, que se factoriza por un factor de carga que depende de la relación del claro corto entre el claro largo, sin considerar la ubicación del muro.

Covarrubias (1960) derivó factores con base en líneas de fluencia que multiplicados por el peso total del muro apoyado sobre la losa y dividido entre el área de la misma, se pueden sumar a la carga uniforme que actúa en la losa, teniendo así una carga uniformemente distribuida total. Dicha carga es entonces equivalente al efecto de la carga uniforme sobre la losa más el de la carga lineal debida al muro dentro del tablero. Esta idealización la realizó con la finalidad de aplicar los coeficientes de momentos que proporcionaba el reglamento propuesto para el Distrito Federal en ese entonces, no solo a losas rectangulares

con carga uniformemente distribuida, sino también a losas con muros apoyados sobre ellas. Covarrubias (1960) realizó análisis plásticos con el método de las líneas de fluencia de Johansen, con lo que fue posible determinar los factores anteriores. La teoría de líneas de fluencia de Johansen supone que al incrementar la carga, se desarrollan articulaciones en la losa, las cuales generan rotaciones en segmentos del elemento. La teoría de Johansen está basada en el análisis plástico, lo que resulta en espesores menores de los que se obtendrían con algún otro método de análisis, por lo que es recomendable verificar las condiciones de servicio. El resultado del trabajo de Covarrubias (1960) se incluyó en las NTCC-04 como una tabla con factores de carga que consideran el efecto de cargas lineales como cargas uniformes equivalentes en losas.

1.2 Antecedentes

El avance de las civilizaciones ha requerido de estructuras cada vez más altas, nuevas formas de construcción que hacía que las antiguas técnicas resultaran obsoletas. Lo anterior, hizo que los sistemas de piso evolucionaran hasta ser una parte fundamental en la construcción, surgiendo así necesidades de métodos de análisis y diseño rigurosos.

A finales del siglo XVIII aparecen los primeros estudios acerca de la flexión de placas con la finalidad de estudiar sus vibraciones, prescindiendo del interés por conocer su distribución de esfuerzos y resistencia. Lagrange (1811) obtuvo una ecuación que describe la flexión y vibración de placas. Posteriormente, Navier (1820) presentó una solución de la ecuación de Lagrange para el caso de una placa rectangular simplemente apoyada en sus bordes. Con esta solución se obtiene la deflexión, curvaturas y esfuerzos en cualquier punto de la placa bajo cargas uniformes y no uniformes. Poisson (1829) derivó un conjunto de condiciones generales de frontera (condiciones de equilibrio y de deformación en los bordes de las placas) y fue capaz de obtener soluciones para placas circulares.¹

Kirchhoff (1850) derivó la ecuación de Lagrange y sus correspondientes condiciones en la frontera mediante el principio de energía. Finalmente, Kelvin y Tait (1867) mostraron que existe una aparente discrepancia entre la teoría de Kirchhoff y la de Poisson, pero concluyen que estas dos se pueden aplicar con ciertas limitaciones que son análogas a las existentes en la teoría de vigas. Por ejemplo, que la teoría elástica de placas deja de ser válida cuando el claro llega a ser muy pequeño comparado con el espesor de la placa.¹

En cuanto a la teoría sobre placas gruesas, Reissner-Mindlin (1951) proponen un conjunto de hipótesis cinemáticas para la deformación de una placa bajo flexión que permite relacionar los desplazamientos con las deformaciones. Una vez obtenidas las deformaciones, las ecuaciones de la elasticidad permiten encontrar los esfuerzos y la

ecuación que relaciona desplazamientos con las fuerzas externas. Lo anterior explica brevemente los avances realizados en el análisis de placas elásticas al término del siglo XIX y mitad del siglo XX, los cuales son de gran importancia con la aparición de los primeros sistemas de piso de concreto reforzado tal y como se conocen actualmente.¹

1.3 Evolución de los métodos de análisis y diseño de losas

Westergaard y Slater (1921) propusieron una metodología con base en la teoría de la elasticidad, para el diseño de losas apoyadas en dos direcciones y losas planas apoyadas en capiteles circulares, la cual requiere de una redistribución de esfuerzos dependientes de la redistribución de rigideces.

Westergaard (1926) publicó coeficientes de momento para el diseño de seis tipos diferentes de paneles, presentando seis diferentes casos de continuidad en una estructura. Los coeficientes presentados por Westergaard fueron adoptados por el ACI en 1947 (Método II) con algunas modificaciones. En 1940, el ACI realizó modificaciones a la propuesta de Westergaard y Slater (1921), extendiendo el método de análisis para cubrir todas las posibles combinaciones de paneles en un sistema de piso. Esto llevó a una tabla de coeficientes para momento positivo en el centro del claro y momento negativo en los bordes, ya sean continuos o discontinuos, considerando las condiciones de forma y de apoyo del panel. Newmark y Siess (1950) desarrollaron un método aproximado para el cálculo de los momentos en placas continuas bajo una carga uniformemente distribuida, el cual aplicaron para el estudio de momentos en losas apoyadas perimetralmente.

Actualmente existe normatividad para el diseño de losas como el ACI-318-11, que establece dos métodos: (1) método de diseño directo, el cual consiste de un conjunto de recomendaciones para la distribución de momentos que satisfacen los requerimientos de servicio y seguridad de la estructura simultáneamente, y (2) el método del marco equivalente que consiste en la representación de un sistema de losa tridimensional por una serie de marcos en dos dimensiones, los cuales se analizan con cargas actuando en el plano de los marcos. Los momentos positivos y negativos así determinados en las secciones críticas de diseño del marco se distribuyen a las secciones de losa de acuerdo con los momentos factorizados en la franja de columna, los momentos factorizados en las vigas y los momentos factorizados en las franjas medias tal y como se indica en el método directo.

¹ Tomados de Westergaard y Slater (1921), "Moments and stresses in slabs", Proceedings of the American Concrete Institute, V.17, No. 2, pp. 415-538.

El EC-2 recomienda utilizar ya sea el método del marco equivalente o algún otro método que sea válido para el diseño de losas perimetralmente apoyadas. El IStructE-06 establece que los momentos flexionantes para losas en dos direcciones cuando éstas se apoyan en soportes lineales como pueden ser muros o vigas, se obtienen con el método de líneas de fluencia; sin embargo, como alternativa se propone una tabla de coeficientes para calcular los momentos en las dos direcciones para diferentes condiciones de borde.

Actualmente, para determinar los momentos de diseño en losas rectangulares, las NTCC-04 proporcionan una tabla de coeficientes, la cual considera varias relaciones del claro corto entre el claro largo de la losa, proporciona factores para todos los tipos de tablero y para las condiciones de colado monolítico y no monolítico con sus vigas de apoyo. Sin embargo, cuando se tienen muros que apoyan directamente en la losa, los efectos de estos muros como cargas lineales pueden tomarse en cuenta como cargas uniformemente distribuidas, las cuales se incrementan por un factor de carga. Estos factores de carga de las NTCC-04 solo consideran si el muro es paralelo al lado corto o lado largo del tablero, pero no consideran que la ubicación del muro puede causar una redistribución de esfuerzos o de momentos, lo que requeriría una modificación en la colocación del acero de refuerzo.

Para entender mejor la interacción entre un muro sobre una losa, Manzanares-Ponce (2013) realizó un estudio analítico-experimental para un sistema de piso con losa de transferencia, cuya característica principal de esta losa es que la estructura superior se apoya en ella; es decir que la mayor parte de los elementos portantes de la estructura superior apoyan directamente sobre la losa. En este sistema de piso la estructura superior puede estar formada por muros de carga contruidos de concreto o mampostería. Este es el caso para el cual las NTCC-04 limitan las recomendaciones de diseño, pues no considera la posición del muro dentro del tablero. Aun cuando existe escasa información sobre metodologías de diseño, consideraciones y/o limitaciones que deberán tomarse en cuenta para sistemas de piso como el que se menciona, actualmente se están construyendo edificios de mediana altura a base de losas de transferencia tal como lo reporta el estudio de observancia del RCDF (Gómez-Soberon *et al.* 2009), en el cual se indicó que el uso de sistemas de piso con losa de transferencia se está extendiendo, por lo que implementar y/o recomendar una metodología de diseño es tema de interés en el campo de la Ingeniería Estructural.

De la Torre *et al.* (2012) describen los aspectos a considerar durante las etapas de proyecto y construcción de sistemas de mampostería para garantizar el desempeño adecuado, como lo son el incremento de la rigidez lateral para evitar los entrepisos blandos y la reducción de la capacidad de deformación vertical del sistema de transferencia.

Como se mencionó anteriormente, para considerar las cargas lineales debidas a muros que apoyan sobre una losa, las NTCC-04 proponen utilizar factores de carga para considerar su

efecto como cargas equivalentes uniformemente distribuidas. Sin embargo, la ubicación del muro sobre la losa modifica el estado de esfuerzos y por lo tanto la distribución de momentos, en consecuencia se modifica la distribución del acero de refuerzo. La ubicación del muro sobre losa es el caso que no se considera en las NTCC-04. De la Paz Morales (2013) revisó los factores para considerar muros apoyados sobre losas como cargas equivalentes variando la ubicación del muro sobre la losa, reportando que existen algunos casos en que se subestima el valor del momento de diseño; además de que no existe una recomendación para la colocación del acero de refuerzo con base en la distribución de momentos relacionada con la ubicación del muro.

1.4 Discusión

Es importante señalar que la teoría de placas elásticas es la base para el análisis y diseño de losas rectangulares. Sin embargo, ante la presencia de losas con geometrías irregulares, la solución con la teoría de placas elásticas es compleja. Situación que requiere utilizar modelos numéricos que proporcionen una buena aproximación en la obtención de resultados para el análisis y diseño.

Los códigos actuales de diseño presentan metodologías similares de análisis y diseño de losas rectangulares mediante coeficientes. En particular, el método de diseño de las NTCC-04 está basado en un método desarrollado originalmente por Siess y Newmark (1950) para losas rectangulares. En este método se incluyen coeficientes para losas construidas monolíticamente con las vigas de apoyo y para losas apoyadas sobre vigas de acero (González y Robles, 2006).

Para considerar las cargas lineales debidas a muros que apoyan sobre una losa, las NTCC-04 proponen utilizar factores para considerar su efecto como cargas equivalentes uniformemente distribuidas. Estos factores solo consideran las relaciones lado corto entre lado largo, de 0.5, 0.8 y 1.0, para muros paralelos al lado corto y al lado largo. Es evidente que la ubicación del muro modifica el estado de esfuerzos y, en consecuencia, el de momentos, lo que provocaría una modificación de la distribución del acero de refuerzo. Lo anterior no se considera en las NTCC-04, por lo que este trabajo de investigación plantea como objetivo principal, determinar factores para considerar el efecto de cargas lineales debidas a muros que actúan sobre losas como cargas equivalentes uniformemente distribuidas.

Capítulo 2

Estrategia de mallado

2.1 Introducción

El desarrollo del método de las rigideces y de los elementos finitos ha permitido la solución de problemas estructurales. El método del elemento finito (MEF) es un método numérico para la solución de ecuaciones diferenciales. Este método es utilizado en diversos problemas de ingeniería y física tales como análisis de esfuerzos, transferencia de calor, fluidos, electromagnetismo, entre otros mediante simulación en computadora.

El análisis de esfuerzos en ingeniería estructural requiere de la solución de ecuaciones diferenciales parciales que son muy difíciles de resolver por métodos analíticos, excepto para formas simples como lo es un rectángulo.

La idea básica del MEF es dividir el cuerpo en elementos finitos, los cuales son llamados elementos y estos son a su vez conectados por nodos para obtener una solución aproximada. Esto es llamado malla de elemento finito y al proceso de hacer la malla se le llama generación de malla o discretización.

Para obtener una solución razonablemente precisa, suelen ser necesarios miles de nodos, por lo que el uso de las computadoras es esencial para resolver estas ecuaciones, esto con el fin de minimizar tiempos en la solución de estructuras de los proyectos de ingeniería que generalmente proporcionan un número considerable de ecuaciones que deben resolverse.

En particular, el software en ingeniería estructural es una herramienta que permite determinar el estado de esfuerzos, elementos mecánicos, así como la configuración de desplazamientos en una estructura o elemento estructural. En el caso de losas de concreto reforzado, tema central de este trabajo de tesis, con la distribución de momentos se determina el estado de esfuerzos, la evolución y trayectorias de agrietamiento en este tipo de elementos estructurales.

En losas con muros apoyados sobre su claro, las NTCC-04 recomiendan considerar las cargas lineales como cargas equivalentes uniformemente distribuidas para calcular los momentos de diseño de la losa, las cuales se incrementan por factores correspondientes. Para verificar que estos factores proporcionen momentos de diseño que garanticen una estructura segura, se elaboró una serie de modelos de losas con muros apoyados en su claro

empleando el software SAP2000 (CSI2009), de los cuales se obtuvieron distribuciones de momentos, así como los desplazamientos para la condición más crítica en cada tablero de estudio. Esta distribución de momentos se comparó con la distribución obtenida por las NTCC-04 en la que se consideró la carga del muro como una carga factorizada uniformemente distribuida.

2.2 Tamaño de malla

2.2.1 Losa

Para garantizar que la malla proporciona resultados independientes de su tamaño, se estudió una losa cuadrada de concreto de 4 x 4 m de borde y 0.10 m de espesor, la cual se muestra en la Figura 2.1. La losa se discretizó con 5, 10, 20 y 40 elementos por borde, los modelos respectivos se muestran en la Figura 2.2. Las losas se modelaron como simplemente apoyadas con carga uniformemente distribuida de 1000 kgf/m². El concreto tiene una resistencia a la compresión $f'_c = 2.5 \times 10^6$ kgf/m², relación de Poisson ν de 0.2 y un módulo de Elasticidad, E , que se determinó con base en las NTCC-04 como:

$$E = 14000\sqrt{f'_c} \quad (2.1)$$

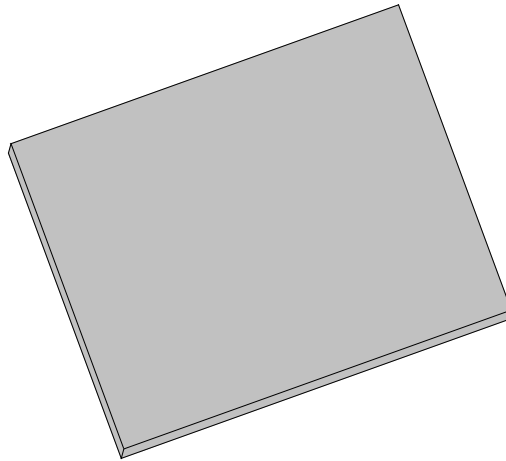


Figura 2.1. Losa de 4 x 4 m de borde y 0.10 m de espesor.

En un medio continuo, las cargas externas actuantes producen desplazamientos generando trabajo externo U_e , el cual se calcula con la ecuación:

$$U_e = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n P_i \delta_i \quad (2.2)$$

donde P_i y δ_i son la carga y el desplazamiento respectivamente. El trabajo externo se transforma en energía de deformación interna U_i , que se almacena en un medio continuo, esta energía la utiliza el continuo para regresar a su posición original no deformada cuando las cargas se retiran, siempre y cuando no se halla excedido el límite elástico del material. Como el trabajo externo es igual a la energía de deformación interna:

$$U_e = U_i \quad (2.3)$$

Para calcular la energía de deformación se utilizó la ec. (2.2), la carga distribuida en las losas se transformó en cargas puntuales aplicadas en cada uno de los nodos, las cuales se multiplicaron por sus respectivos desplazamientos verticales. La Figura 2.3 muestra la variación de la energía de deformación respecto al número de elementos por borde, donde se observa que la energía tiende a estabilizarse a partir de 20 elementos por borde, por lo que en los modelos a estudiar se utilizó esta discretización por borde. Este criterio de discretización se realizó con la finalidad de minimizar el tiempo de cómputo, pues el tener un mayor número de elementos sólo incrementaría el tiempo de cómputo, pero no mejorarían los resultados obtenidos.

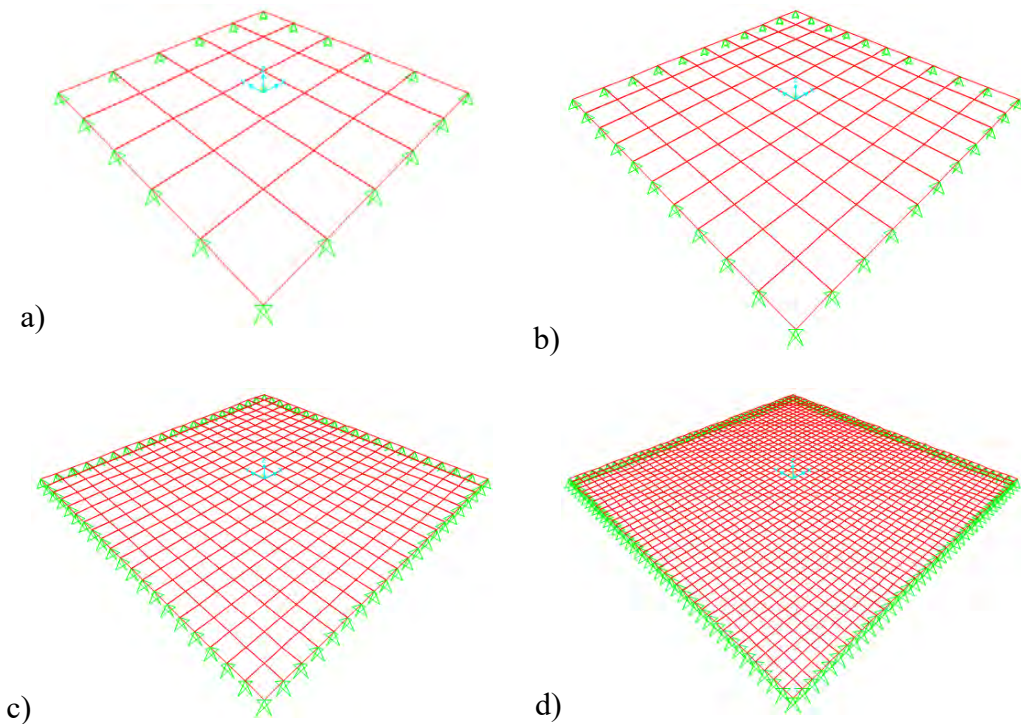


Figura 2.2. Modelo discretizado con elementos por borde: a) 5, b) 10, c) 20 y d) 40.

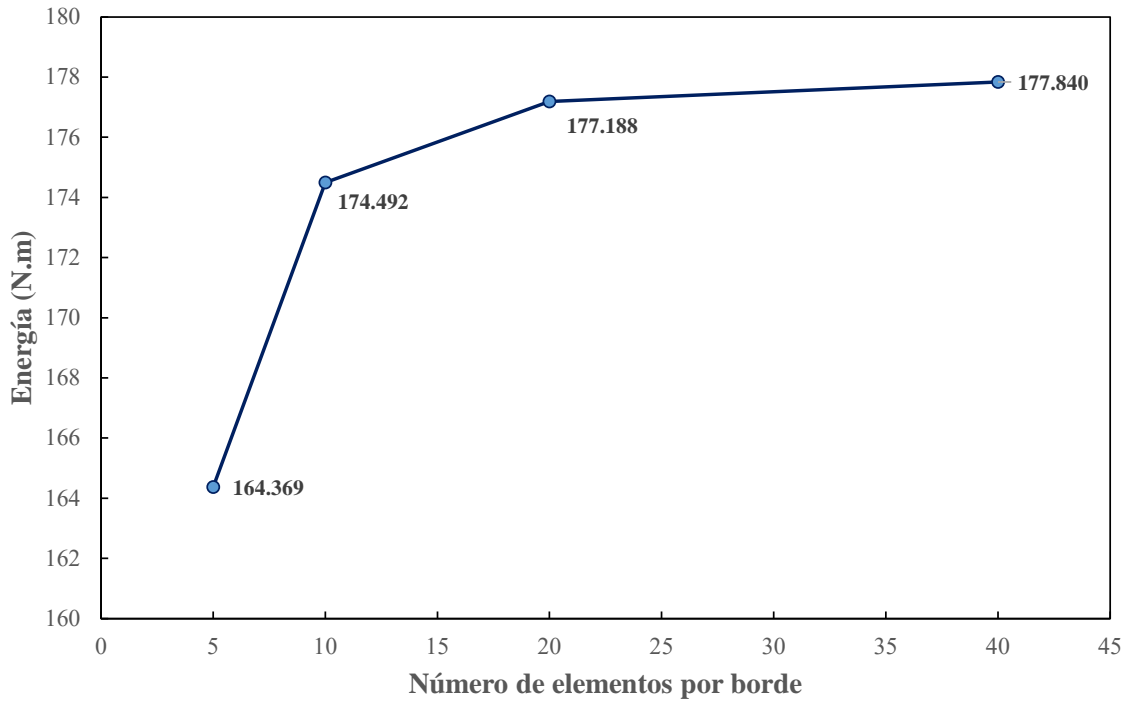


Figura 2.3. Curva energía contra número de elementos.

2.2.2 Losa con muro al centro del claro

Puesto que en los modelos a estudiar se tiene un muro sobre la superficie de la losa, se realizó un estudio del tamaño de la malla análogo al de la losa sin muro de la sección 2.1, por lo que se incluyó un muro de mampostería de 18 cm de espesor ubicado al centro del claro la losa cuadrada de concreto de 4m de longitud. Para garantizar conectividad en los nodos del modelo de losa con muro al centro del claro, se discretizó la losa y el muro con 6, 12, 24 y 48 elementos por borde, los cuales se muestran respectivamente en la Figura 2.4. La Figura 2.5 muestra la variación de la energía de deformación respecto al número de elementos por borde, donde se observa que la energía se estabiliza a partir de 24 elementos por borde, por lo que en los modelos estudiados se utilizó una discretización de 20 elementos por borde.

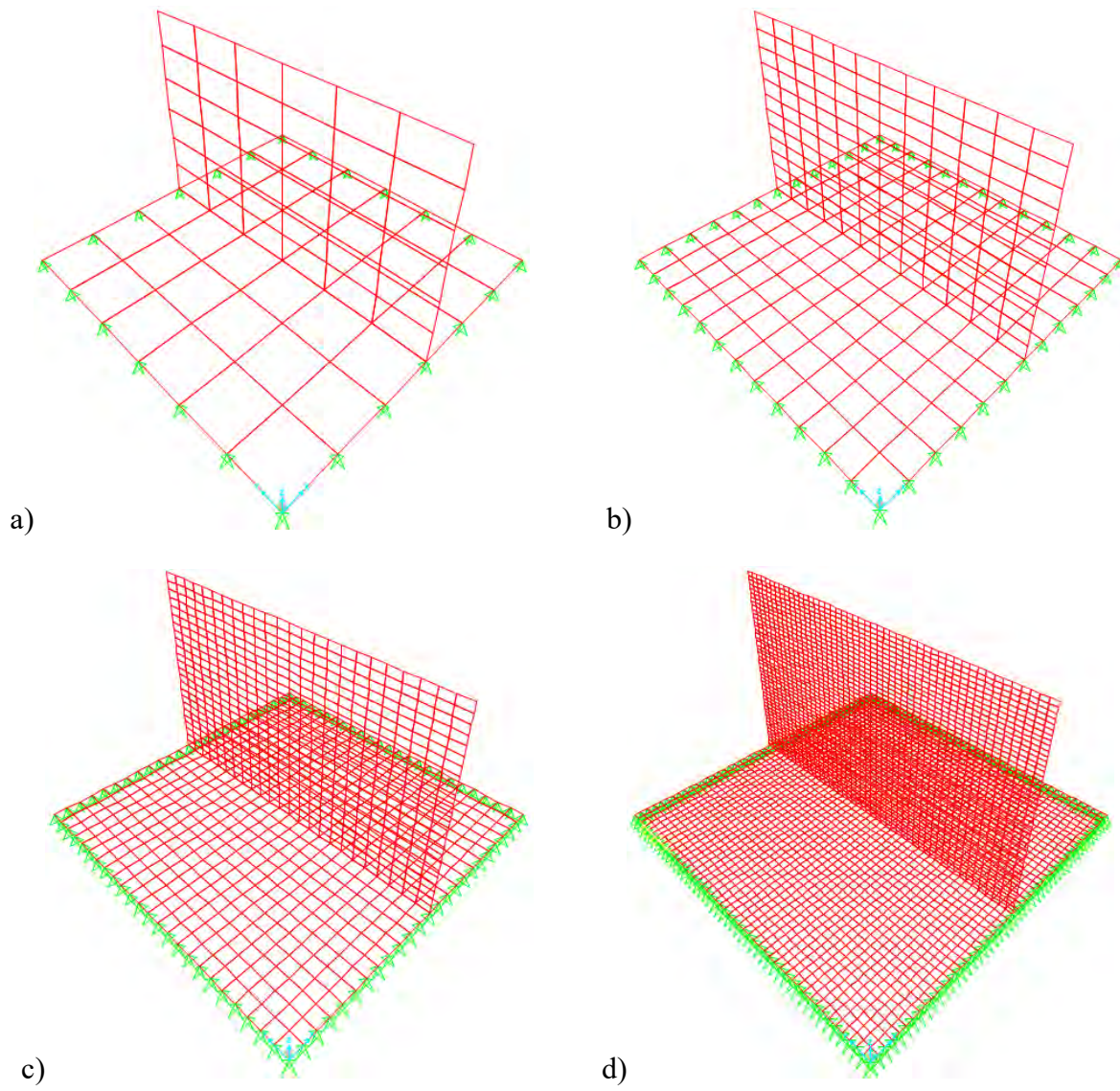


Figura 2.4. Modelo losa-muro discretizado con elementos por borde: a) 6, b) 12, c) 24 y d) 48.

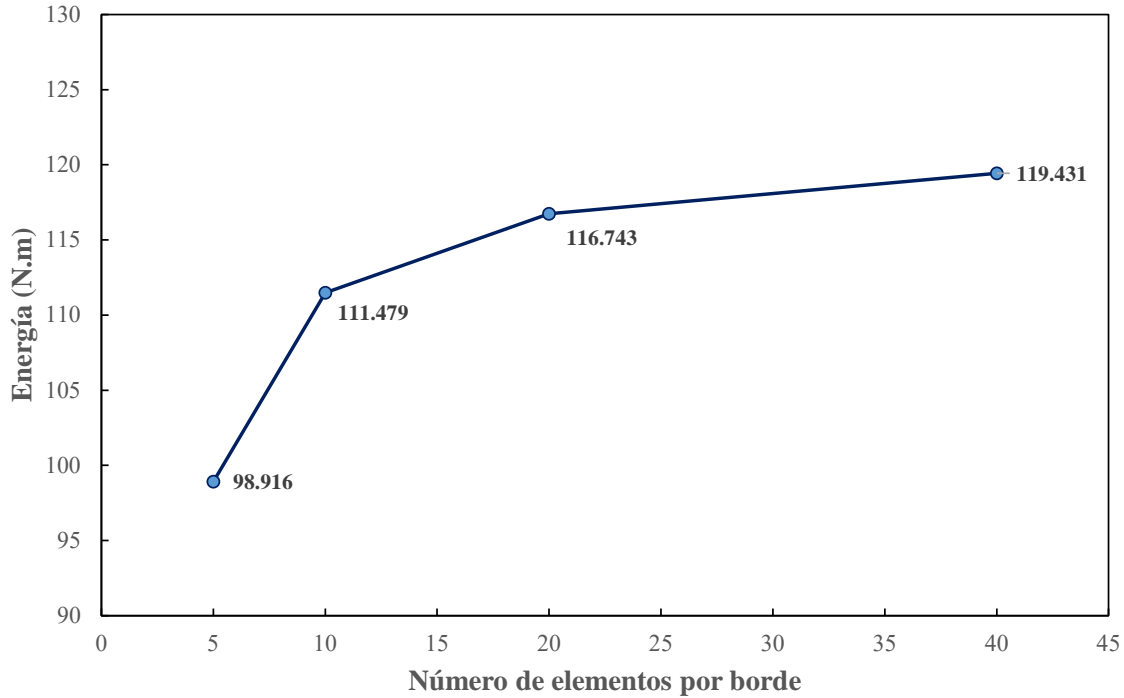


Figura 2.5. Curva energía contra número de elementos.

2.3 Número de paneles

2.3.1 Descripción

Como se discutió previamente, una parte fundamental en el modelado de estructuras es definir la estrategia de mallado. Con la finalidad de reducir el tamaño de los modelos y con ello el tiempo de cómputo, además, partiendo del criterio de mallado definido en la sección 2.2.1 y 2.2.2, se estudiaron dos modelos con configuración de 3x3 y 5x5 tableros respectivamente para determinar el número de tableros que debe tener la losa en estudio. Se obtuvo la distribución de momentos en la franja central del tablero interior en ambos modelos, los cuales se compararon para revisar si existe diferencia significativa en los resultados, de no ser así, es posible determinar la configuración de tableros tipo para los modelos numéricos estudiados en este trabajo, pues una configuración con mayor número de tableros solo incrementaría el tiempo de cómputo.

Se realizaron modelos de losas de los casos establecidos en la NTCC-04, considerando que los tableros que la relación del lado corto entre el lado largo varía de 0.5 a 1.0 con incrementos de 0.1, en los que se asignó la longitud de 4m al lado largo. Los siete tipos de tableros que se estudiaron son: aislado, interior, de esquina, de borde con un lado corto discontinuo, de borde con un lado largo discontinuo, de extremo con tres bordes discontinuos y un lado largo continuo y de extremo con tres bordes discontinuos y un lado corto continuo, los cuales se muestran en la Figura 2.6.

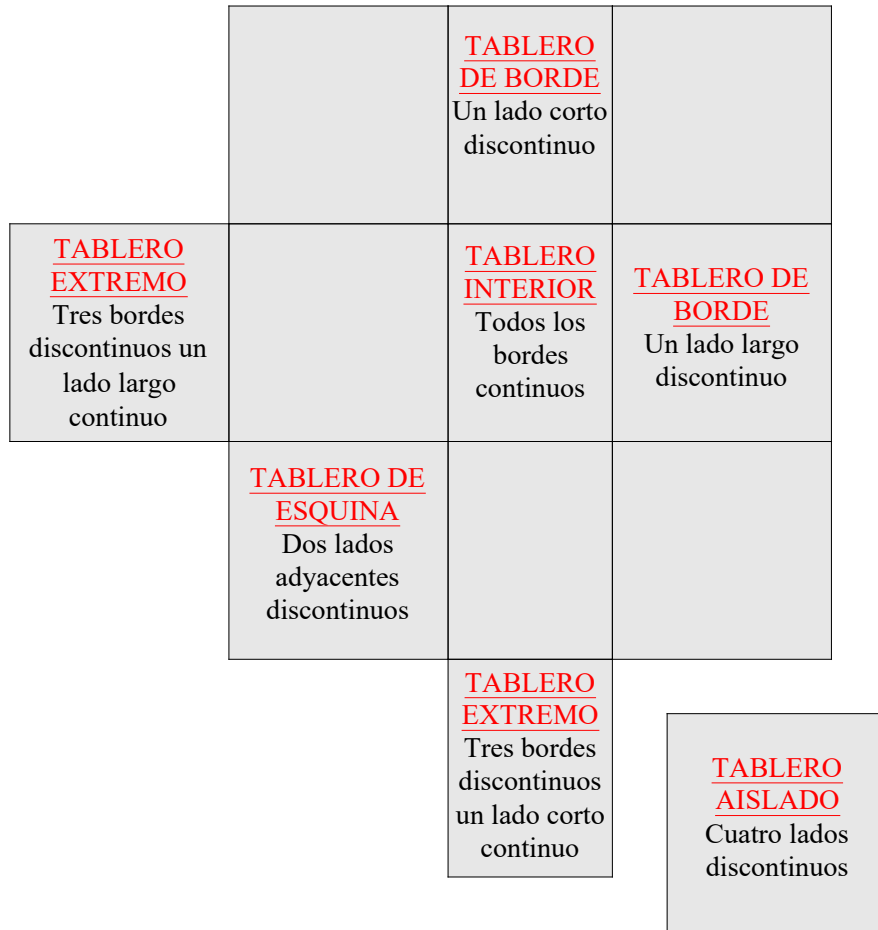


Figura 2.6. Tipos de tableros.

Las cargas aplicadas en los modelos fueron las consideradas para una estructura para uso de habitación (casa-habitación, departamentos, viviendas, dormitorios). Se aplicó una carga muerta uniformemente distribuida de $W_m = 516 \text{ kgf/m}^2$ y una carga viva uniformemente distribuida de $W_v = 170 \text{ kgf/m}^2$. El espesor de la losa de 0.12 m, peralte calculado para soportar las cargas mencionadas. Las vigas de apoyo de 0.20x0.40 m y columnas de 0.30x0.30 m.

2.3.2 Determinación de la configuración de tableros

Para la configuración de tableros a utilizar, se realizaron 2 modelos con 3 y 5 tableros por borde, como se muestran respectivamente en la Figura 2.7. Los momentos en la franja central del panel interior de ambos modelos muestran que no existe diferencia significativa en los momentos obtenidos, como se muestra en la Figura 2.8, por lo que se eligió trabajar con modelos de 3 tableros por borde para reducir costo computacional en los análisis correspondientes.

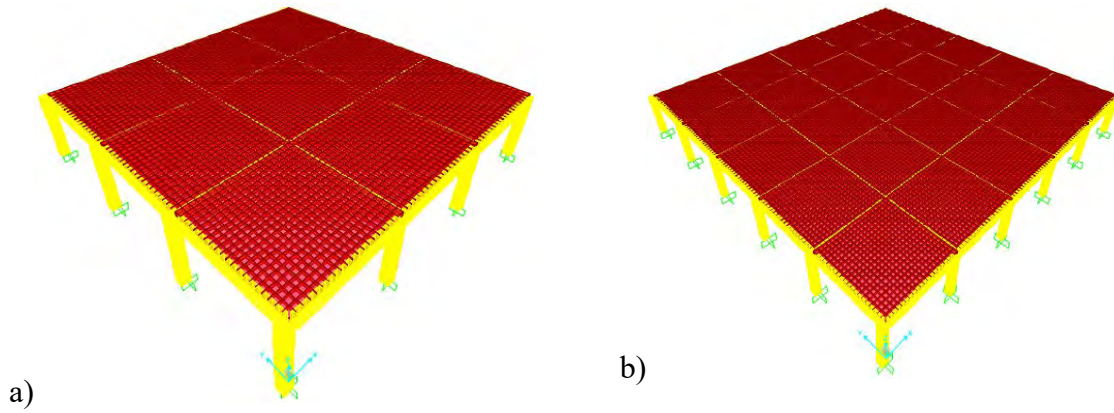


Figura 2.7. Modelos con tableros por borde: a) 3 y b) 5.

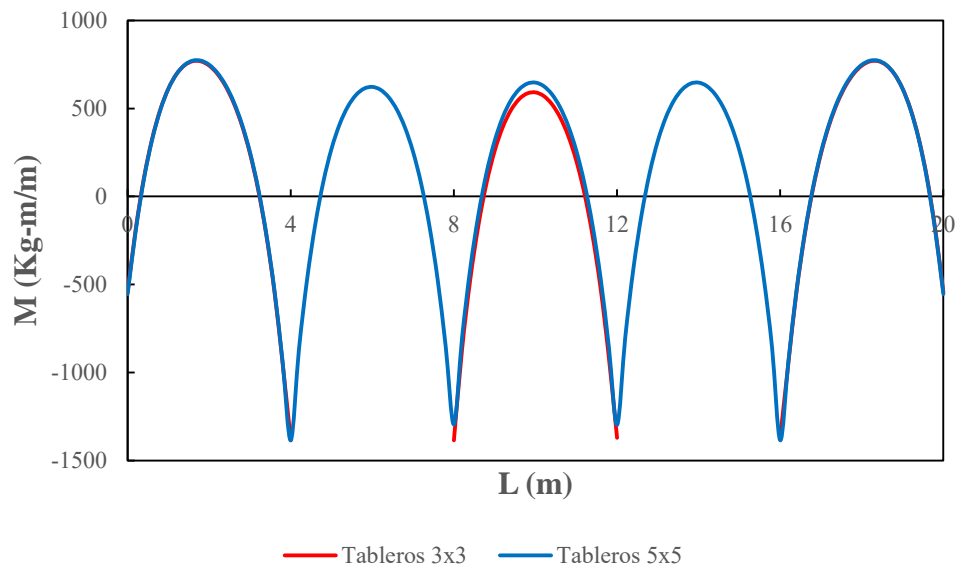


Figura 2.8. Diagrama de momento en la franja central del panel interior en modelos con 3 y 5 tableros por borde.

2.4 Características de los modelos estudiados

Se estudiaron casos análogos a los tabulados a las NTCC-04 para losas macizas de concreto apoyadas en dos direcciones, considerando muros sobre el tablero de estudio. El muro se colocó paralelo al lado corto, a_1 , y paralelo al lado largo, a_2 , para estudiar su efecto más crítico como se muestra en la Figura 2.9; en ambos casos, el muro se ubicó a $1/8$, $1/4$, $3/8$, $1/2$, $5/8$, $3/4$ y $7/8$ del claro.

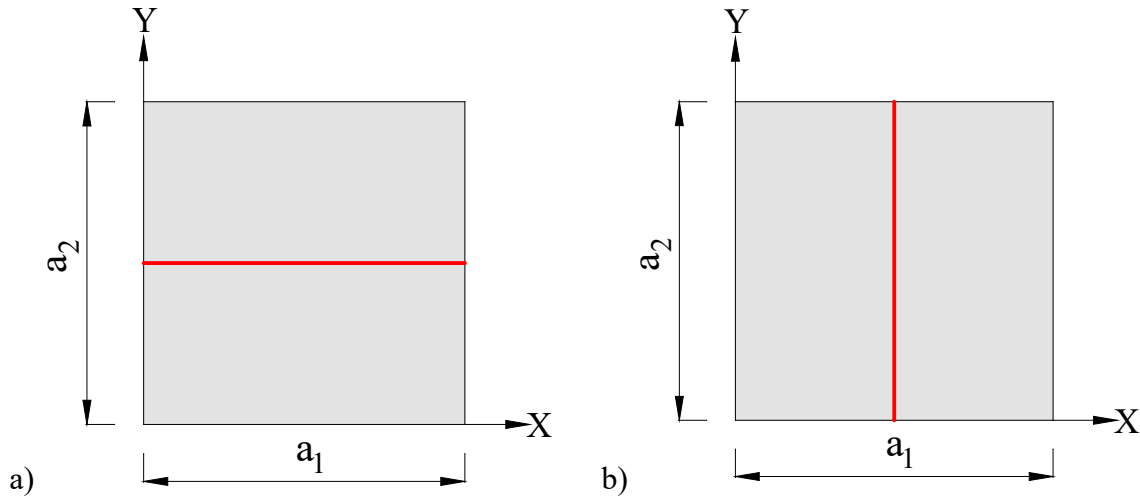


Figura 2.9. Sistema de referencia para muros paralelos al eje: a) X, b) Y.

En este trabajo de tesis se estudiaron losas apoyadas perimetralmente en vigas, las cuales se apoyan sobre columnas en sus esquinas. Se consideraron los dos tipos de continuidad descritos en las NTCC-04; el tipo I, que corresponde cuando la losa está colada monolíticamente con sus vigas de apoyo, y el tipo II, cuando las losas no son coladas monolíticamente con sus vigas de apoyo. En la Figura 2.10 se muestran respectivamente ambos tipos de continuidad.



Figura 2.10. Tipos de colado en losas de concreto reforzado: a) colado monolítico y b) colado no monolítico.

Para el caso de losas coladas no monolíticamente con sus vigas de apoyo se genera una junta fría entre la losa y su viga de apoyo tal como se muestra en la Figura 2.10b. Esta condición permite a la losa rotar libremente. Para modelar esta discontinuidad entre ambos elementos, en los modelos numéricos se desacoplaron los grados de libertad de los nodos donde coinciden los elementos de la losa y de la viga, correspondientes al giro perpendicular al eje de la viga.

Tanto las vigas como columnas se modelaron con elementos tipo *Frame*, los muros y losas se modelaron con elementos tipo *Shell* delgado (*Shell thin*). Se utilizaron elementos tipo *Shell thin* debido a que la relación de lados a espesor de losa es menor a un décimo del claro, este tipo de elementos no considera las deformaciones por cortante, otra consideración es que las losas estudiadas no presentan huecos ni espesor variable. En la Figura 2.11 se muestra que los elementos utilizados en el modelado numérico tienen seis grados de libertad por nodo (d_x , d_y , d_z , θ_x , θ_y , θ_z). Los grados de libertad permiten determinar desplazamientos y rotaciones en la dirección normal y perpendicular al plano del elemento. El acoplamiento de los grados de libertad permite definir el tipo de continuidad que existe en los elementos estructurales. Es por ello que para el caso de losas coladas monolíticamente con sus elementos de apoyo, se acoplan los seis grados de libertad, mientras que para el caso de losas coladas no monolíticamente con sus elementos de apoyo, solo se acoplan los grados de libertad correspondientes a los desplazamientos tal como se muestra en la Figura 2.12.

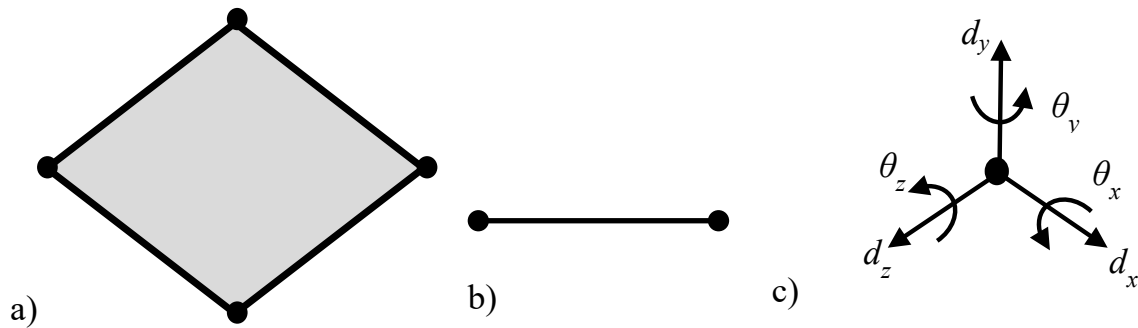


Figura 2.11. a) Elemento tipo *Shell*, b) elemento tipo *Frame* y c) grados de libertad en el nodo (adaptado de Gutiérrez-Morgado 2014).

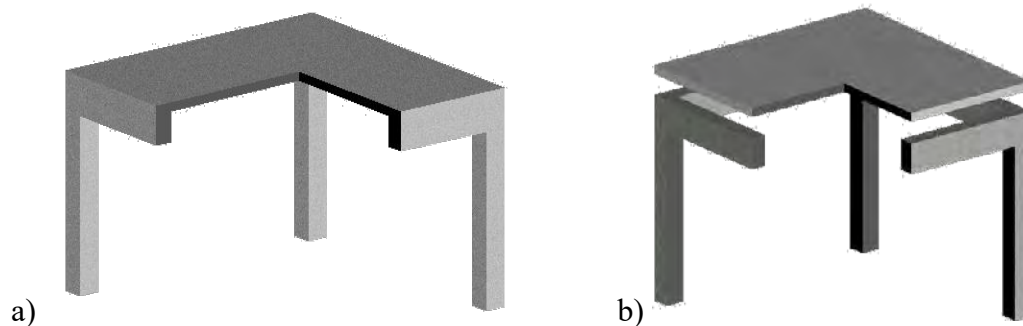


Figura 2.12. a) Seis grados de libertad acoplados y b) giros desacoplados (adaptado de Gutiérrez-Morgado 2014).

2.5 Método de los coeficientes NTCC-04

2.5.1 Momentos flexionantes debidos a cargas uniformemente distribuidas

Los momentos flexionantes en losas perimetralmente apoyadas se calculan con los coeficientes de la Tabla 2. 1 si se satisfacen las siguientes limitaciones:

- a) Los tableros son aproximadamente rectangulares;
- b) La distribución de las cargas es aproximadamente uniforme en cada tablero;
- c) Los momentos flexionantes negativos en el apoyo común de dos tableros adyacentes difieren entre sí en una cantidad no mayor que 50 por ciento del menor de ellos; y
- d) La relación entre carga viva y muerta no es mayor 2.5 para losas monolíticas con sus apoyos, ni mayor de 1.5 en otros casos.

Para valores intermedios de la relación, m , entre el claro corto, a_1 , y el claro largo a_2 , se interpolará linealmente.

Tabla 2. 1. Coeficientes de momentos flexionantes para tableros rectangulares, franjas centrales (adaptado de las NTCC-04).

Tablero	Momento	Claro	Relación de lados corto a largo, $m = a_1/a_2$													
			0		0.5		0.6		0.7		0.8		0.9		1.0	
			I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Interior Todos los bordes continuos	Negativo en bordes interiores	Corto	998	1018	553	565	489	498	432	438	381	387	333	338	288	292
		Largo	516	544	409	431	391	412	371	388	347	361	320	330	288	292
	Positivo	Corto	630	668	312	322	268	276	228	236	192	199	158	164	126	130
		Largo	175	181	139	144	134	139	130	135	128	133	127	131	126	130
De borde Un lado corto discontinuo	Negativo en bordes interiores	Corto	998	1018	568	594	506	533	451	478	403	431	357	388	315	346
		Largo	516	544	409	431	391	412	372	392	350	369	326	341	297	311
	Neg. en borde dis.	Largo	326	0	258	0	248	0	236	0	222	0	206	0	190	0
		Corto	630	668	329	356	292	306	240	261	202	219	167	181	133	144
	Positivo	Largo	179	187	142	149	137	143	133	140	131	137	129	136	129	135
		Corto	1060	1143	583	624	514	548	453	481	397	420	346	364	297	311
De borde Un lado largo discontinuo	Negativo en bordes interiores	Largo	587	687	465	545	442	513	411	470	379	426	347	384	315	346
		Corto	651	0	362	0	321	0	283	0	250	0	219	0	190	0
	Neg. en borde dis.	Largo	751	912	334	366	285	312	241	263	202	218	164	175	129	135
		Corto	185	200	147	158	142	153	138	149	135	146	134	145	133	144
De esquina Dos lados adyacentes discontinuos	Negativo en bordes interiores	Corto	1060	1143	598	653	530	582	471	520	419	464	371	412	324	364
		Largo	600	713	475	564	455	541	429	506	394	457	360	410	324	364
	Negativo en bordes discontinuos	Corto	651	0	362	0	321	0	277	0	250	0	219	0	190	0
		Largo	326	0	258	0	248	0	236	0	222	0	206	0	190	0
	Positivo	Corto	751	912	358	416	306	354	259	298	216	247	176	199	137	153
		Largo	191	212	152	168	146	163	142	158	140	156	138	154	137	153
Extremo Tres bordes discontinuos un lado largo continuo	Neg. en borde con.	Corto	1060	1143	970	1070	890	1010	810	940	730	870	650	790	570	710
		Largo	651	0	370	0	340	0	310	0	280	0	250	0	220	0
	Negativo en bordes discontinuos	Corto	220	0	220	0	220	0	220	0	220	0	220	0	220	0
		Largo	751	912	730	800	670	760	610	710	550	650	490	600	430	540
	Positivo	Corto	185	200	430	520	430	520	430	520	430	520	430	520	430	520
		Largo	570	710	570	710	570	710	570	710	570	710	570	710	570	710
Extremo Tres bordes discontinuos un lado corto continuo	Neg. en borde con.	Corto	570	0	480	0	420	0	370	0	310	0	270	0	220	0
		Largo	330	0	220	0	220	0	220	0	220	0	220	0	220	0
	Negativo en bordes discontinuos	Corto	1100	1670	960	1060	840	950	730	850	620	740	540	660	430	520
		Largo	200	250	430	540	430	540	430	540	430	540	430	540	430	540
	Positivo	Corto	570	0	550	0	530	0	470	0	430	0	380	0	330	0
		Largo	330	0	330	0	330	0	330	0	330	0	330	0	330	0
Aislado Cuatro lados discontinuos	Negativo en bordes discontinuos	Corto	1100	1670	830	1380	800	1330	720	1190	640	1070	570	950	500	830
		Largo	200	250	500	830	500	830	500	830	500	830	500	830	500	830

2.6 Tabla de factores para considerar cargas lineales NTCC-04

Actualmente las NTCC-04 proponen una tabla de factores para considerar los efectos de cargas lineales debidas a muros que apoyan sobre una losa tal como se muestra en la Figura 2.13a. Las cargas lineales debidas a muros pueden considerarse como cargas equivalentes uniformemente distribuidas.

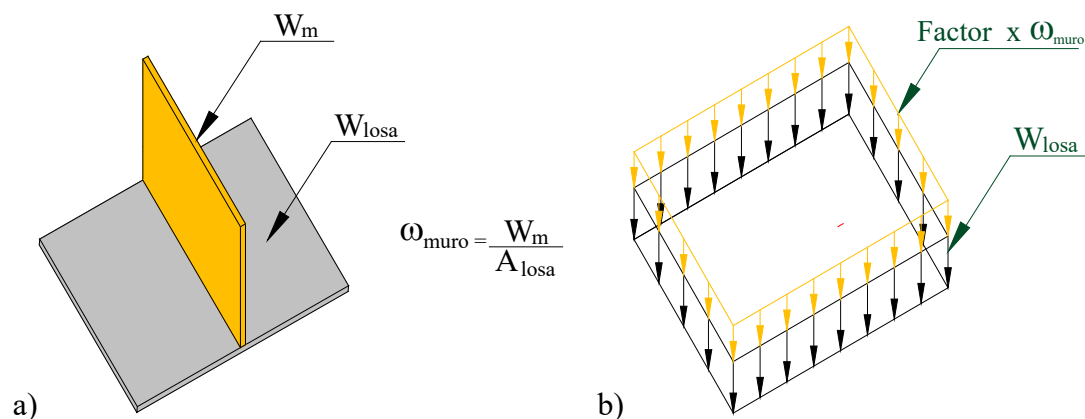


Figura 2.13. Modelo de losa con carga: a) lineal debida a un muro y b) equivalente uniformemente distribuida.

En la Figura 2.13, W_m es el peso total del muro, W_{losa} es la carga uniformemente distribuida de la losa, A_{losa} es el área de la losa y ω_{muro} es la carga del muro uniformemente distribuida sobre todo el tablero en el que está apoyado el muro.

El cálculo de la carga equivalente uniformemente distribuida de un muro apoyado sobre una losa, paralelo a uno de sus bordes, se obtiene al dividir el peso del muro entre el área del tablero y multiplicando el resultado por el factor correspondiente de la Tabla 2. 2. La carga equivalente debida al muro así obtenida se sumará a la carga uniformemente distribuida que actúa en ese tablero debido a carga muerta, viva, máxima, etc., tal como se muestra en la Figura 2.13b.

Tabla 2. 2. Factor para considerar cargas lineales como cargas uniformes equivalentes (adaptado de las NTCC-04).

Relación de lados $m = a_1/a_2$	0.5	0.8	1.0
Muro paralelo al lado corto	1.3	1.5	1.6
Muro paralelo al lado largo	1.8	1.7	1.6

Una vez obtenida la carga lineal como carga uniforme equivalente, pueden calcularse los momentos flexionantes en la franjas centrales de los tableros de losa, tal como se hace con el método de los coeficientes. El cálculo de los momentos flexionantes se determina con la ecuación:

$$M_n = \alpha a^2 [\omega_{losa} + Factor(\omega_{muro})] \quad (2.4)$$

donde, M_n es el momento nominal obtenido numéricamente de los modelos de estudio, α es el coeficiente de momentos flexionantes para tableros rectangulares en las franjas centrales, a es la dimensión menor del tablero en estudio, ω_{losa} es la carga uniformemente distribuida sobre el tablero de losa, $Factor$ es el factor para considerar las cargas lineales como cargas uniformes equivalentes y ω_{muro} es el peso del muro apoyado sobre el tablero de losa.

Capítulo 3

Modelado de muros sobre losas

3.1 Introducción

Se presentan los modelos numéricos de losas que tienen muros apoyados en su claro, variando la ubicación del muro en ambas direcciones, así como la relación de lados, longitud del claro corto entre longitud del claro largo, desde 0.5 a 1.0 con incrementos de 0.1, considerando los dos tipos de colado propuestos en las NTCC-04.

Como se mostró previamente en el capítulo 2, la discretización de los paneles y elementos estructurales se realizó con base en la energía de deformación, mostrando que la energía tiende a estabilizarse cuando se discretiza la losa con 20 elementos por borde. De la geometría de los elementos estructurales, se consideraron losas de 12 cm de espesor, vigas de 20x40 cm, columnas de 30x30 cm y muros de mampostería de 18 cm de espesor.

En este capítulo se describen los modelos realizados para cada uno de los tableros en estudio. Se obtuvo la distribución de momentos en las franjas centrales de los tableros, donde se tienen las magnitudes de momentos más críticas cuando se tienen muros apoyados sobre losas. Los momentos obtenidos de los modelos numéricos se compararon con los que se obtienen con las NTCC-04 cuando se considera el efecto de la carga del muro como una carga equivalente uniformemente distribuida. De la comparación de momentos se obtiene un catálogo de factores que considera el efecto de cargas lineales en tableros de losa como cargas equivalentes uniformemente distribuidas. En total se realizaron 588 modelos con losas coladas monolíticamente con sus vigas de apoyo y 588 con colado no monolítico.

Se verificó también que los modelos cumplieran con los estados límite de servicio que establecen las Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones (NTCA-04).

3.2 Descripción geométrica de los modelos

Se estudiaron casos análogos a las relaciones de lados propuestas en las NTCC-04. Se realizaron modelos en los que se varió la relación existente lado corto a lado largo con incrementos de 0.1, desde 0.5 hasta 1.0. La Tabla 2. 2 muestra los factores que se utilizan para considerar el efecto de cargas lineales como cargas uniformes equivalentes en tableros de losas; sin embargo, esta tabla se muestra de manera general para cualquier tipo de tablero. Se modelaron los tableros de losa colocando sobre ellos un muro de mampostería, el cual se ubicó en distintas posiciones y en ambas direcciones del tablero para estudiar su efecto más crítico. Con los resultados de estos modelos en el siguiente capítulo se propone una tabla de factores para considerar cargas lineales como cargas distribuidas equivalentes, obteniendo un catálogo análogo al de la Tabla 2. 1.

3.3 Simulación de muros como cargas lineales sobre losas

3.3.1 Tablero interior - Todos los bordes continuos

En la Figura 3.1a se muestra la distribución de momentos en una losa con 3 tableros por borde, en su tablero interior, con relación de lados de 0.5, se tiene un muro sobre el colocado paralelo al lado corto a una distancia de $\frac{1}{4}$ del lado largo. El modelo corresponde al caso de colado monolítico con dimensiones del tablero interior de 2 y 4 m en su lado corto y largo, respectivamente. La Figura 3.1b muestra la distribución de momentos al centro del claro del tablero en estudio para diferentes ubicaciones del muro paralelas al lado corto, los momentos se compararon con los calculados con las NTCC-04, donde se observa que en todos los casos se subestiman los momentos de diseño. La condición más crítica para la ubicación del muro dentro del tablero es aquella que produce los momentos máximos, los cuales se obtienen cuando el muro se ubica a una distancia de $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$ del lado corto, tal como se observa en la Figura 3.1b.

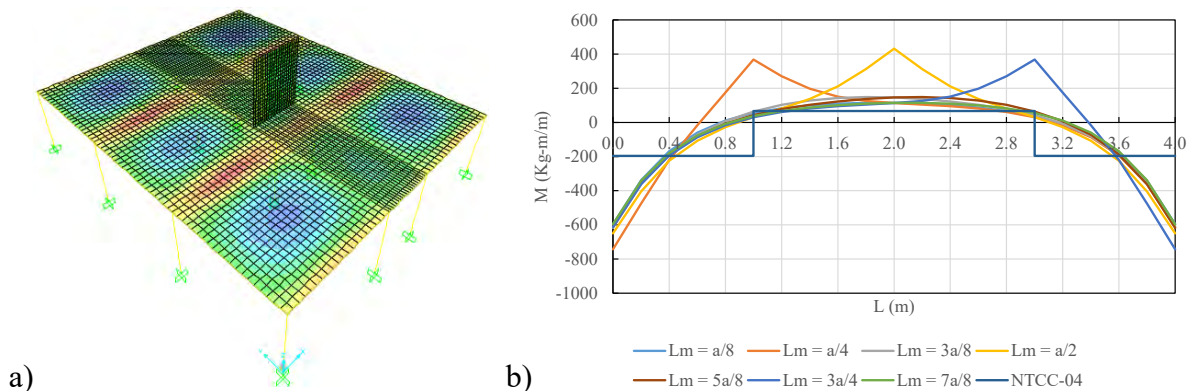


Figura 3.1. Tablero interior: a) distribución de momentos y b) comparación de momentos.

3.3.2 Tableros de borde

Se estudiaron los tableros de borde con un muro colocado paralelo al lado corto y paralelo al lado largo del tablero. La Figura 3.2a muestra la distribución de momentos para el caso de un tablero de borde con un lado corto discontinuo con relación de lados de 0.9 cuando el muro es colocado paralelo al lado largo a una distancia de $5/8$ del lado corto. El modelo corresponde al caso de colado monolítico con dimensiones del tablero de borde de 3.6 y 4 m en su lado corto y largo respectivamente. La Figura 3.2b muestra la distribución de momentos al centro del claro del tablero en estudio para diferentes ubicaciones del muro paralelas al lado largo, los momentos se compararon con los calculados con las NTCC-04, donde se observa que en todos los casos se subestiman los momentos de diseño. La condición más crítica para la ubicación del muro dentro del tablero es aquella que produce los momentos máximos, los cuales se obtienen cuando el muro se ubica a una distancia de $5/8$ del lado largo, tal como se observa en la Figura 3.2b.

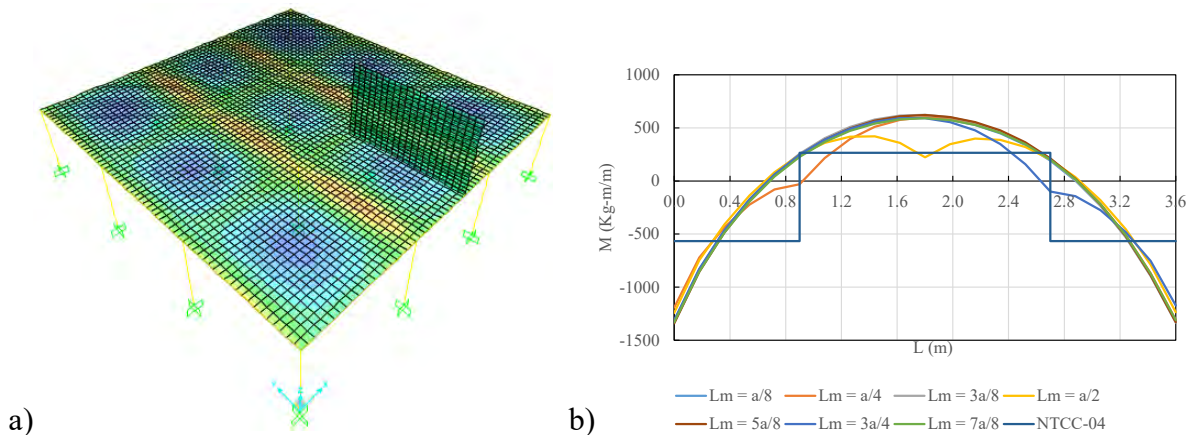


Figura 3.2. Tablero de borde con un lado corto discontinuo: a) distribución de momentos y b) comparación de momentos.

3.3.3 Tablero de esquina - Dos lados adyacentes discontinuos

La Figura 3.3a muestra la distribución de momentos de un tablero de esquina con relación de lados de 0.8 cuando en su claro se coloca un muro paralelo al lado largo a una distancia de $1/2$ del lado corto. El modelo corresponde al caso de colado monolítico con dimensiones del tablero de esquina de 3.2 y 4 m en su lado corto y largo respectivamente. Además, la Figura 3.3b muestra la distribución de momentos al centro del claro del tablero en estudio para diferentes ubicaciones del muro paralelas al lado largo, los momentos se compararon con los calculados con las NTCC-04 y se observa que en todos los casos se subestiman los momentos de diseño. La condición más crítica para la ubicación del muro dentro del tablero es aquella que produce los momentos máximos, los cuales se obtienen cuando el muro se ubica a una distancia de $5/8$ del lado largo, tal como se observa en la Figura 3.3b.

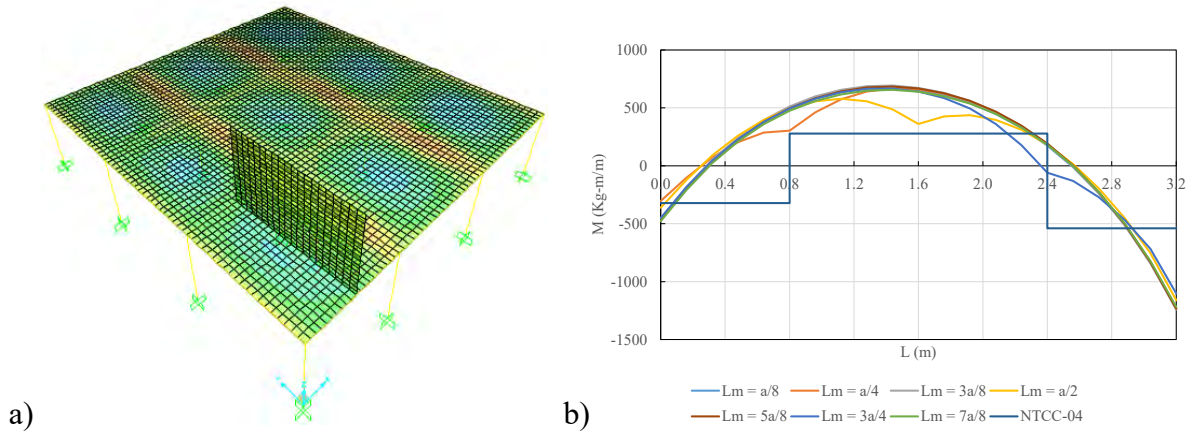


Figura 3.3. Tablero de esquina: a) distribución de momentos y b) comparación de momentos.

3.3.4 Tableros de extremo

Se estudiaron los tableros de extremo con un lado corto y un lado largo continuo. La Figura 3.4a muestra la distribución de momentos de un tablero de extremo con tres bordes discontinuos y un lado corto continuo con relación de lados de 0.7, cuando en su claro se coloca un muro paralelo al lado corto a una distancia de $3/8$ del lado largo. El modelo corresponde al caso de colado monolítico con dimensiones del tablero de extremo de 2.8 y 4 m en su lado corto y largo respectivamente. En la Figura 3.4b se muestra la distribución de momentos al centro del claro del tablero en estudio para diferentes ubicaciones del muro paralelas al lado corto, los momentos se compararon con los calculados con las NTCC-04, donde se observa que en todos los casos se subestiman los momentos de diseño. La condición más crítica para la ubicación del muro dentro del tablero es aquella que produce los momentos máximos, los cuales se obtienen cuando el muro se ubica a una distancia de $5/8$ del lado corto, tal como se observa en la Figura 3.4b.

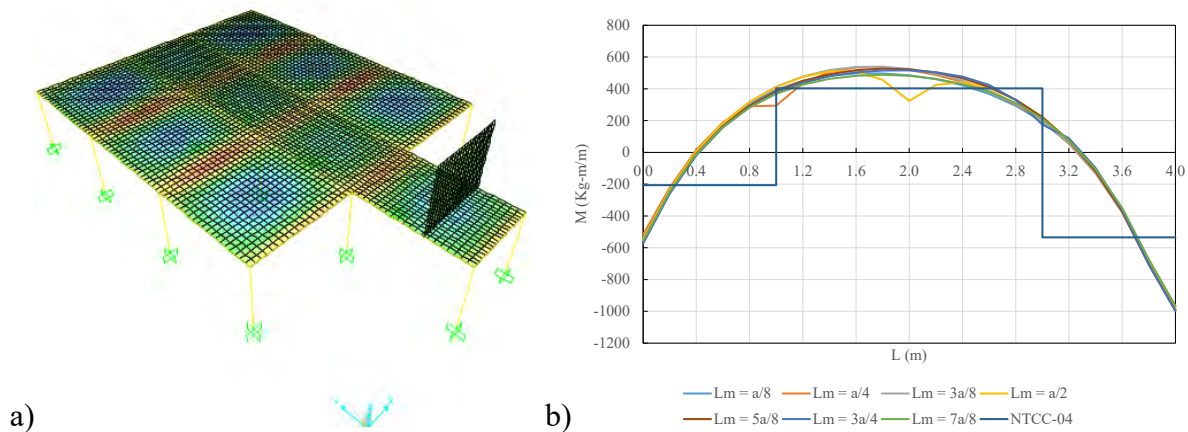


Figura 3.4. Tablero de extremo con tres bordes discontinuos y un lado corto continuo: a) distribución de momentos y b) comparación de momentos.

3.3.5 Tablero aislado

En la Figura 3.5a se muestra la distribución de momentos de un tablero aislado con relación de lados de 0.7, cuando en su claro se coloca un muro paralelo al lado corto a una distancia de 7/8 del lado largo. El modelo corresponde al caso de colado monolítico con dimensiones del tablero de esquina de 2.8 y 4 m en su lado corto y largo respectivamente. En la Figura 3.5b se muestra la distribución de momentos al centro del claro del tablero en estudio para diferentes ubicaciones del muro paralelas al lado corto, los momentos se compararon con los calculados con las NTCC-04, donde se observa que en todos los casos se subestiman los momentos de diseño. La condición más crítica para la ubicación del muro dentro del tablero es aquella que produce los momentos máximos, los cuales se obtienen cuando el muro se ubica a una distancia de 3/8 y 5/8 del lado corto, tal como se observa en la Figura 3.5b.

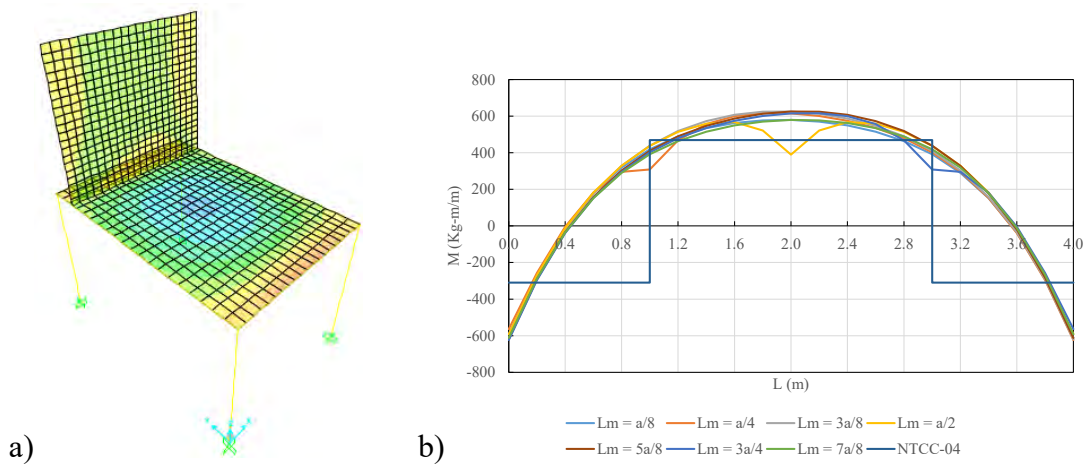


Figura 3.5. Tablero aislado: a) distribución de momentos y b) comparación de momentos.

El resto de las distribuciones de momentos de la franja central de los siete tipos de tableros se muestra en el Anexo I.

3.4 Desplazamientos

Las NTCA-04 establecen que las estructuras deberán satisfacer los estados límite de servicio, para ello, deberán cumplir con los desplazamientos permisibles que se recomiendan. El desplazamiento vertical máximo al centro del claro de la losa será aquel que resulta de dividir el claro entre 240 más 5 mm. Sin embargo, las NTCC-04 establecen que para el cálculo de los desplazamientos totales, deberán considerarse además de las deflexiones inmediatas, las deflexiones diferidas (a largo plazo por contracción o flujo plástico).

3.4.1 Deflexiones diferidas NTCC-04

La deflexión adicional que ocurra a largo plazo en elementos de concreto normal clase 1, sujetos a flexión, se obtendrá multiplicando la flecha inmediata calculada, por el factor:

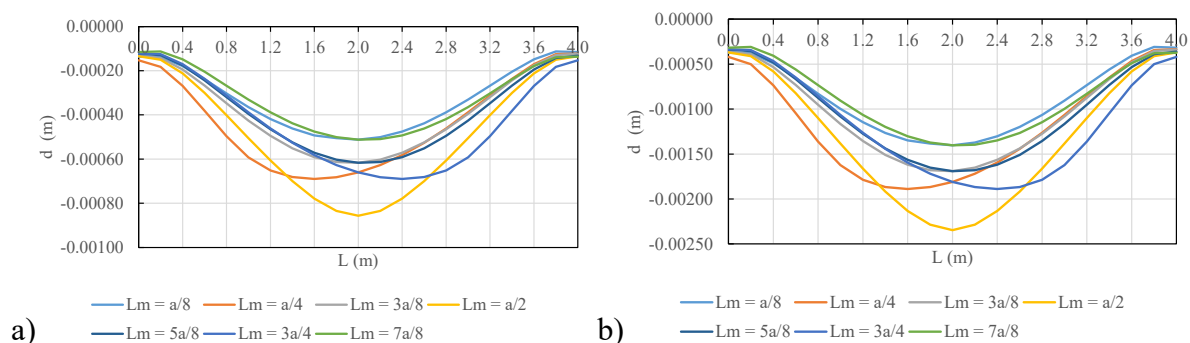
$$\frac{2}{1 + 50p'} \quad (3.1)$$

donde p' es la cuantía de acero a compresión (A_s'/bd).

De los modelos numéricos realizados en SAP2000 se obtuvieron las deflexiones inmediatas para cada uno de los casos estudiados, tal como se muestra en el Anexo II. Se calcularon también las deflexiones diferidas para obtener así los desplazamientos totales en centro del claro de la losa. Los desplazamientos totales se compararon con los desplazamientos permisibles y en todos los casos, estos son aproximadamente el 30% del desplazamiento máximo permisible, por lo que se concluye que en todos los casos se satisfacen los estados límite de servicio.

En la Figura 3.6a se muestran las deflexiones inmediatas obtenidas numéricamente al colocar el muro paralelo al lado corto en distintas posiciones sobre la losa en un tablero interior con relación de lados de 0.5, para el caso de losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. La Figura 3.6b muestra los desplazamientos totales del tablero interior descrito, los cuales se comparan con los desplazamientos permisibles de las NTCA-04 tal como se muestra en la Figura 3.6c, los desplazamientos totales incluyen además de las deflexiones inmediatas obtenidas numéricamente, las deflexiones diferidas descritas anteriormente, y estos desplazamientos son aproximadamente el 12% de los desplazamientos permisibles. En general, los desplazamientos calculados numéricamente con los modelos de elementos finitos son en la mayoría de los casos menores al 30% del desplazamiento máximo permisible, d_p , calculado con la siguiente expresión:

$$d_p = \frac{l_c}{240} + 5mm \quad (3.2)$$



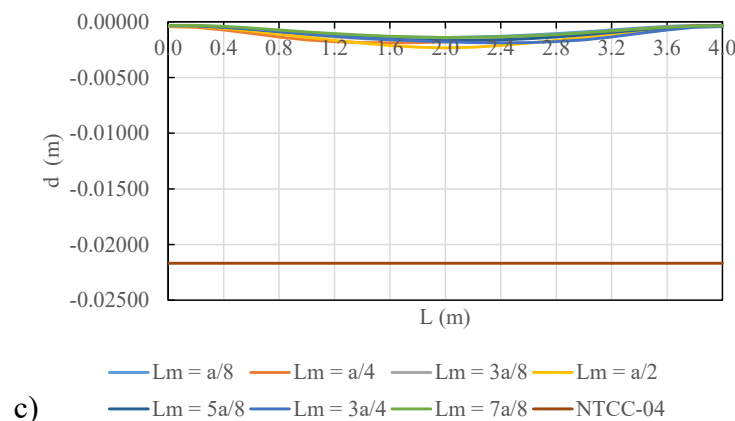


Figura 3.6. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero interior. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados de 0.5. a) deflexiones inmediatas, b) desplazamientos totales y c) comparación de desplazamientos (totales y permisibles NTCA-04).

3.5 Determinación de factores para considerar cargas lineales

De los modelos numéricos de los tableros en estudio se obtuvo la distribución de momentos en la condición más crítica para cada caso, tal como se ha descrito. Los momentos se compararon con los calculados por la NTCC-04. Sin embargo, se observó que en la mayoría de los casos estos momentos están subestimados. Esta situación puede generar zonas de concentración de esfuerzos donde puede iniciar el agrietamiento, así como desplazamientos excesivos.

Comparando los momentos obtenidos de los modelos numéricos con los obtenidos por las NTCC-04 cuando se considera el efecto de cargas lineales en losas como cargas equivalentes uniformemente distribuidas, se obtuvo una tabla de factores para considerar todos los tableros mostrados en la Figura 2.6, la Tabla 3. 1 contiene los factores numéricos mínimos que satisfacen los momentos obtenidos numéricamente.

Para el cálculo de los factores se utilizó la siguiente expresión:

$$Factor = \frac{\left[\frac{M_n}{\alpha a^2} - \omega_{losa} \right]}{\omega_{muro}} \quad (3.3)$$

Tabla 3. 1. Factores propuestos para considerar cargas lineales como cargas equivalentes uniformemente distribuidas.

Tablero	Momento	Claro	Relación de lados corto a largo, $m = a_1/a_2$											
			0.5		0.6		0.7		0.8		0.9		1.0	
			I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Interior Todos los bordes continuos	Negativo en bordes interiores	Corto	9	9	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9
		Largo	16	12	14	11	12	10	11	10	10	9	9	9
	Positivo	Corto	2	2	3	3	4	4	6	6	8	7	10	10
		Largo	29	29	21	20	15	14	12	11	11	11	10	10
De borde Un lado corto discontinuo	Negativo en bordes interiores	Corto	8	9	8	8	7	8	8	8	8	8	8	9
		Largo	16	13	14	12	12	11	10	9	9	9	9	0
	Neg. en borde dis.	Largo	15	0	12	0	9	0	6	0	5	0	5	0
		Corto	1	1	2	1	4	3	6	5	8	7	11	10
	Positivo	Corto	37	37	26	25	20	18	17	15	15	14	13	13
		Largo												
De borde Un lado largo discontinuo	Negativo en bordes interiores	Corto	8	7	7	7	7	7	8	7	8	8	9	9
		Largo	13	11	11	10	10	9	9	9	9	9	8	9
	Neg. en borde dis.	Corto	2	0	2	0	3	0	3	0	4	0	4	0
		Corto	5	6	6	7	7	7	9	8	11	10	14	13
	Positivo	Corto	21	20	15	15	13	13	12	13	12	12	11	10
		Largo												
De esquina Dos lados adyacentes discontinuos	Negativo en bordes interiores	Corto	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	8	8
		Largo	13	11	11	9	9	8	9	8	8	8	8	8
	Negativo en bordes discontinuos	Corto	2	0	2	0	3	0	4	0	4	0	5	0
		Largo	16	0	12	0	9	0	7	0	6	0	6	0
	Positivo	Corto	4	4	5	5	6	7	8	8	10	11	13	14
		Largo	27	23	20	18	17	17	15	16	14	16	13	14
Extremo Tres bordes discontinuos un lado largo continuo	Neg. en borde con.	Corto	4	3	3	3	3	3	3	2	3	2	3	3
		Corto	1	0	1	0	2	0	3	0	3	0	4	0
	Negativo en bordes discontinuos	Largo	25	0	18	0	12	0	9	0	7	0	5	0
		Corto	1	2	1	2	1	2	1	2	2	2	2	2
	Positivo	Corto	7	4	4	3	3	3	3	3	2	2	2	2
		Largo												
Extremo Tres bordes discontinuos un lado corto continuo	Neg. en borde con.	Largo	10	6	8	5	6	5	5	4	4	3	3	3
		Corto	2	0	2	0	3	0	4	0	4	0	6	0
	Negativo en bordes discontinuos	Largo	20	0	14	0	10	0	8	0	6	0	5	0
		Corto	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2	2
	Positivo	Corto	5	5	4	4	3	4	3	3	2	3	2	2
		Largo												
Aislado Cuatro lados discontinuos	Negativo en bordes discontinuos	Corto	1	0	1	0	1	0	2	0	2	0	3	0
		Largo	14	0	9	0	7	0	5	0	4	0	2	0
	Positivo	Corto	2	1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	1
		Largo	5	2	4	2	3	2	3	1	2	1	2	1

Gutiérrez-Morgado (2014), realizó un estudio numérico de los coeficientes de diseño de losas de concreto, demostrando que en más del 50% de los casos estudiados, los coeficientes de diseño propuestos en las NTCC-04 están subestimados. Con base en los resultados obtenidos, propuso una tabla de coeficientes que cubre los momentos de diseño en losas de concreto.

En este trabajo se determinó así mismo una tabla de factores para considerar las cargas lineales como cargas equivalentes uniformemente distribuidas, utilizando la tabla de coeficientes de diseño de losas propuesta por Gutiérrez-Morgado (2014), estos factores se presentan en la Tabla 3. 2.

Es posible notar diferencia significativa en el valor de los factores cuando se determinan con los coeficientes de diseño propuestos en las NTCC-04 y los coeficientes de diseño propuestos por Gutiérrez Morgado. Los factores disminuyen en algunos casos hasta en un 75% su valor numérico.

Tabla 3. 2. Factores propuestos para considerar cargas lineales como cargas equivalentes uniformemente distribuidas (obtenida a partir de la tabla de coeficientes propuesta por Gutiérrez Morgado).

Tablero	Momento	Claro	Relación de lados corto a largo, $m = a_1/a_2$											
			0.5		0.6		0.7		0.8		0.9		1.0	
			I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Interior Todos los bordes continuos	Negativo en bordes interiores	Corto	3	3	4	3	4	3	4	3	5	3	5	4
		Largo	11	7	9	6	8	5	7	5	6	4	5	4
	Positivo	Corto	2	2	2	3	2	2	3	3	4	4	5	5
		Largo	29	29	15	20	8	10	6	7	5	6	5	5
De borde Un lado corto discontinuo	Negativo en bordes interiores	Corto	3	2	3	2	3	2	4	2	4	3	5	3
		Largo	10	8	9	7	8	6	7	5	6	4	5	4
	Neg. en borde dis.	Largo	15	0	12	0	9	0	6	0	5	0	5	0
		Corto	1	1	2	1	2	2	3	3	3	3	4	4
	Positivo	Corto	1	1	2	1	2	2	3	3	3	3	4	4
		Largo	21	26	12	15	8	8	6	6	6	5	4	3
De borde Un lado largo discontinuo	Negativo en bordes interiores	Corto	3	2	3	2	3	2	4	3	5	4	5	4
		Largo	10	6	8	5	7	4	6	4	5	3	5	3
	Neg. en borde dis.	Corto	2	0	2	0	3	0	3	0	4	0	4	0
		Corto	4	3	3	3	4	3	4	4	5	4	4	3
	Positivo	Corto	4	3	3	3	4	3	4	4	5	4	4	3
		Largo	13	12	8	7	6	5	5	5	5	4	4	4
De esquina Dos lados adyacentes discontinuos	Negativo en bordes interiores	Corto	2	1	2	2	3	2	3	3	4	2	5	3
		Largo	10	6	8	5	7	4	6	4	5	3	5	3
	Negativo en bordes discontinuos	Corto	2	0	2	0	3	0	4	0	4	0	5	0
		Largo	12	0	9	0	6	0	5	0	5	0	6	0
	Positivo	Corto	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4
		Largo	12	10	8	6	7	5	6	5	6	5	4	4
Extremo Tres bordes discontinuos un lado largo continuo	Neg. en borde con.	Corto	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	3	3
		Corto	1	0	1	0	2	0	3	0	3	0	4	0
	Negativo en bordes discontinuos	Largo	14	0	10	0	8	0	6	0	7	0	5	0
		Corto	1	2	1	2	1	2	1	2	2	2	2	2
	Positivo	Corto	1	2	1	2	1	2	1	2	2	2	2	2
		Largo	7	4	4	3	3	3	3	3	2	2	2	2
Extremo Tres bordes discontinuos un lado corto continuo	Neg. en borde con.	Largo	10	2	8	2	6	2	5	2	4	2	3	3
		Corto	2	0	2	0	3	0	4	0	4	0	6	0
	Negativo en bordes discontinuos	Largo	8	0	6	0	10	0	5	0	6	0	5	0
		Corto	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2	2
	Positivo	Corto	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2	2
		Largo	5	5	4	4	3	4	3	3	2	3	2	2
Aislado Cuatro lados discontinuos	Negativo en bordes discontinuos	Corto	1	0	1	0	1	0	2	0	2	0	3	0
		Largo	9	0	9	0	7	0	5	0	4	0	2	0
	Positivo	Corto	2	1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	1
		Largo	6	2	4	2	3	2	3	1	2	1	2	1

Capítulo 4

Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

Con base en los resultados obtenidos se concluye que los análisis numéricos son de utilidad para el estudio de losas con muros apoyados sobre ellas, pues proporcionan la distribución de momentos, lo que permite establecer la distribución del acero del refuerzo; además permite conocer las zonas más esforzadas donde iniciaría el agrietamiento.

La distribución de momentos en las losas muestra que, en la mayoría de los casos, los momentos obtenidos de los modelos numéricos son mayores a los calculados considerando un muro como carga equivalente con los factores de carga actualmente recomendados por las NTCC-04, pues en algunos casos los momentos obtenidos de los modelos numéricos son hasta cinco veces mayores. Lo anterior puede provocar el tener secciones de losas que presenten agrietamientos incipientes y/o flechas excesivas.

Los momentos máximos positivos no siempre se presentaron cuando una carga lineal producida por el muro estaba ubicada en el centro de la losa, lo cual debe considerarse para la distribución del acero de refuerzo. Sin embargo, con base en las distribuciones de momento de los modelos numéricos, es posible seguir las recomendaciones típicas para la colocación del acero de refuerzo en losas (acero negativo en los extremos en una longitud de $\frac{1}{4}$ del claro y acero positivo en el centro del claro), pues se observa una distribución uniforme de momentos en las franjas de los tableros estudiados, esta situación se presenta en la mayoría de los modelos.

Solo en 131 casos fue posible observar que los factores actualmente propuestos en las NTCC-04 para considerar cargas lineales como cargas uniformemente distribuidas equivalentes cubren los momentos de diseño del tablero en estudio, por lo que estos deben actualizarse.

En general, en los resultados obtenidos de los modelos numéricos, se observa que en la mayoría de los casos los momentos calculados con las recomendaciones de las NTCC-04 subestiman los momentos de diseño cuando en los tableros de losa se consideran cargas lineales.

Los factores de carga propuestos cubren los momentos que se obtienen de los modelos numéricos, pues se determinaron con el valor máximo de los momentos calculados en el tablero.

En la revisión de los estados límite de servicio de todos los modelos estudiados las deflexiones más desfavorables fueron menores a las permisibles, en las que se incluyó las deflexiones diferidas que solicitan las NTCA-04,, por lo que los modelos que se estudiaron garantizan que se satisfacen los requisitos de estado límite de servicio.

4.2 Recomendaciones

De los resultados obtenidos se reportó que en muchos casos las NTCC-04 subestiman los momentos de diseño, por lo que los factores propuestos en este trabajo garantizan el diseño de estructuras seguras.

Como se mostró en este trabajo, una parte importante en el modelado de estructuras es definir la estrategia de mallado, por lo que se recomienda establecer un tamaño de malla que garantice resultados adecuados sin abusar de mallas excesivamente finas que únicamente incrementen el costo computacional.

4.3 Trabajos futuros

- Estudiar la distribución de momentos cuando en los tableros de losas actúan cargas concentradas.
- Estudiar la distribución de momentos cuando en los tableros de losas actúan cargas lineales y concentradas, considerando que los tableros presentan diferentes condiciones de apoyo como lo son muros y vigas.
- Estudiar tableros con muros apoyados sobre ellos en los que se consideran las acciones sísmicas.

Referencias

- [1] ACI-318-11 (2011), “Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary”, Farmington Hills, (MI, USA), American Concrete Institute.
- [2] Covarrubias M. A. (1960), “Coeficientes para el diseño de las losas perimetrales sujetas a cargas lineales”, Tesis profesional, Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.
- [3] CSI (2009), “SAP2000 Advanced 15.1.0”, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California.
- [4] De la Paz-Morales E. (2013), “Revisión de factores para considerar muros apoyados sobre losas como cargas equivalentes”, Proyecto Terminal de Ingeniería Civil, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco.
- [5] De la Torre-Rangel O., Jean-Perrilliat R., Pérez-Gavilán J. J. y Lizárraga-Pereda J. F. (2012), “Consideraciones de diseño y de construcción en sistemas de mampostería con losa de transferencia”, Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Acapulco Guerrero, 2012.
- [6] EC-2 (2002), Eurocode 2: Design of concrete structures, British Standards Institution.
- [7] Gómez-Soberón M.C., Gómez-Bernal A., González-Cuevas O. M., Terán-Gilmore A., Ruiz-Sandoval M. E., Zúñiga-Cuevas O., Carpio-Pacheco C., Martín Del Campo-Hernández I. T. (2009), “Estudio sobre la observancia del Reglamento de Construcciones del D.F. y sus Normas Técnicas Complementarias” Informe Final División de C.B.I., Dpto. Materiales, Área de Estructuras. Reporte de investigación patrocinada por la Secretaría de Obras y Servicios del Gobierno del D. F. bajo el Convenio CT/04/07. Junio de 2009.
- [8] González-Cuevas O. M. y Robles F. (2006), “Aspectos fundamentales del concreto reforzado”, Cuarta edición, Limusa, México.
- [9] Gutiérrez-Morgado P. (2014), “Estudio numérico de los coeficientes de diseño de losas de concreto”, Tesis de Maestría, Posgrado en Ingeniería Estructural, UAM-Azcapotzalco.
- [10] IstructE-06 (2006), “Manual for the design of concrete building structures to Eurocode 2”, The Institution of Structural Engineers.

- [11] Manzanares-Ponce D. (2013), "Edificios estructurados con losas de transferencia", Tesis de Maestría, Posgrado en Ingeniería Estructural, UAM-Azcapotzalco.
- [12] Newmark N.M. y Siess C.P. (1950), "Proposed design specifications for two-way floor slabs", Journal Proceedings, American Concrete Institute, Vol. 46, No.4, Abril de 1950, pp. 597-607.
- [13] NTCC-04 (2004), "Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal", Gaceta Oficial del Distrito Federal, México.
- [14] NTCA-04 (2004), "Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal", Gaceta Oficial del Distrito Federal, México.
- [15] RCDF-04 (2004), "Reglamento de Construcciones del Distrito Federal", Gaceta Oficial del Distrito Federal, 29 de enero de 2004.
- [16] Westergaard H. M. (1926), "Formulas for the design of rectangular floor slabs and their supporting girders", ACI Journal, Proceedings, Vol. 22, pp. 26-46.
- [17] Westergaard H. M. y Slater W. A. (1921), "Moments and stresses in slabs", Proceedings of the American Concrete Institute, Vol. 17, No. 2, pp. 415-538.

Anexo I Variación de momentos

En este anexo se muestran las curvas de los momentos flexionantes calculados numéricamente en la franja central del tablero en estudio, así como los calculados con los coeficientes de las NTCC-04. En muchos de los casos los momentos obtenidos de los modelos numéricos en SAP2000 son mayores a los calculados con las NTCC-04 considerando el muro como carga equivalente uniformemente distribuida.

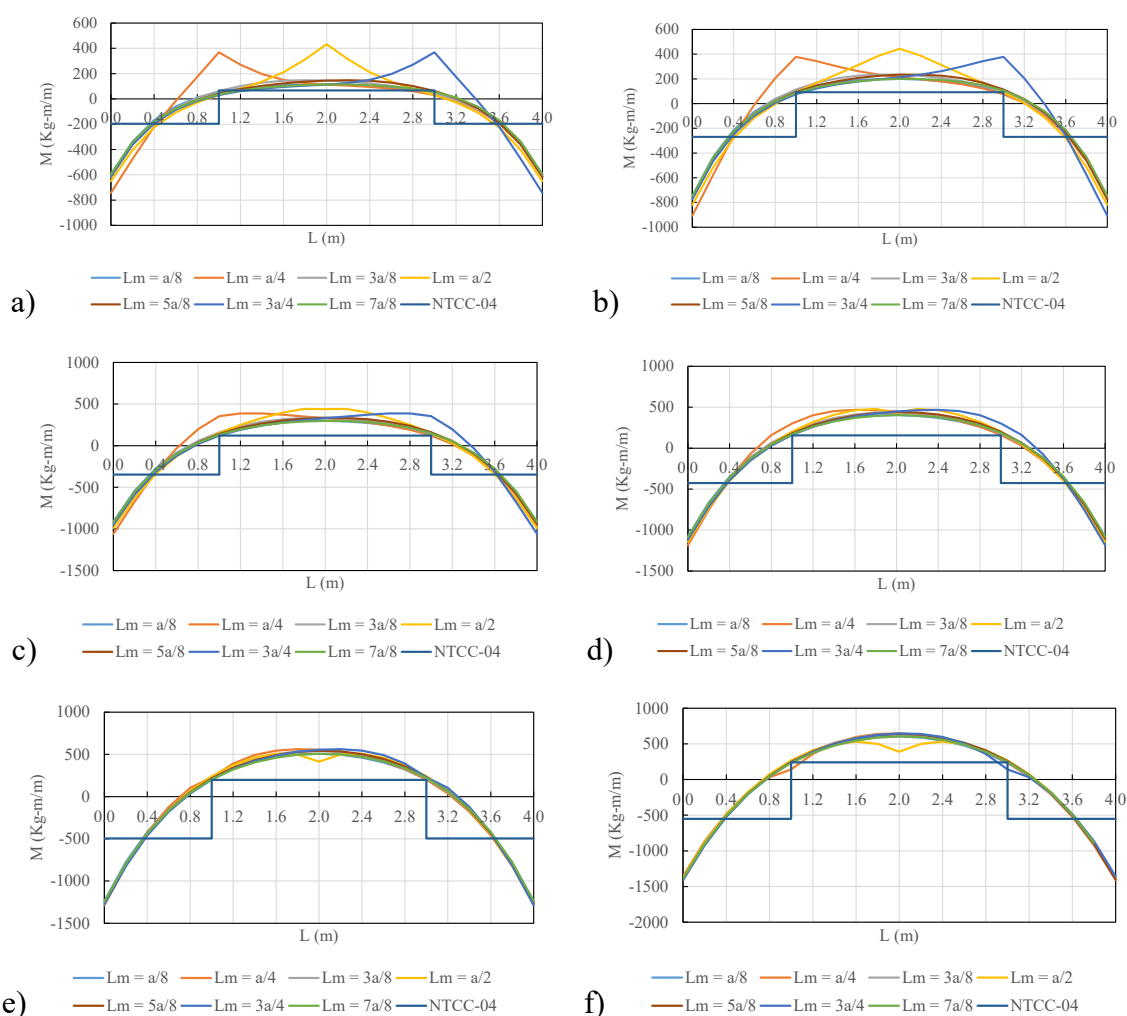


Figura I. 1. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero interior. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

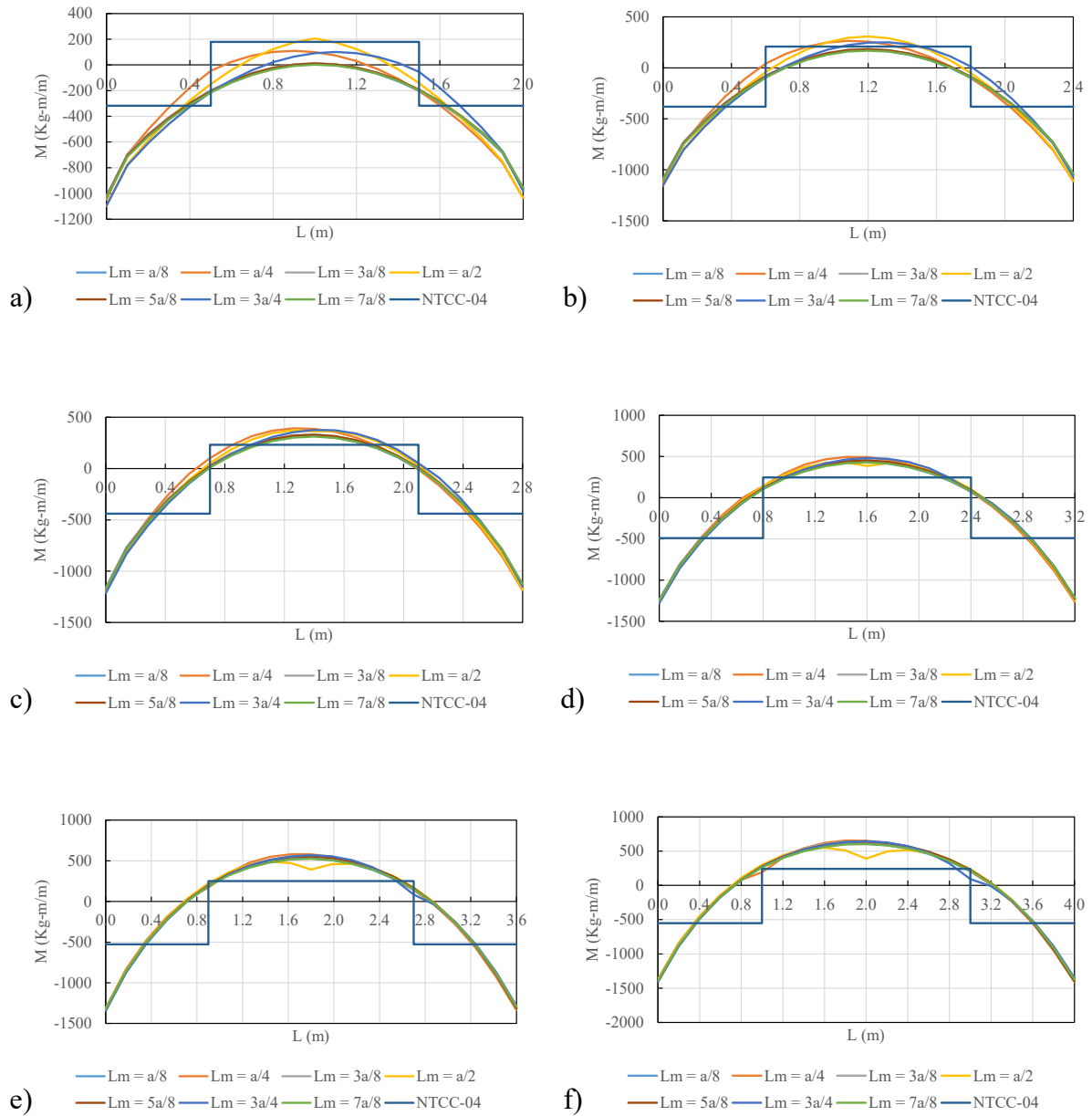


Figura I. 2. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero interior. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

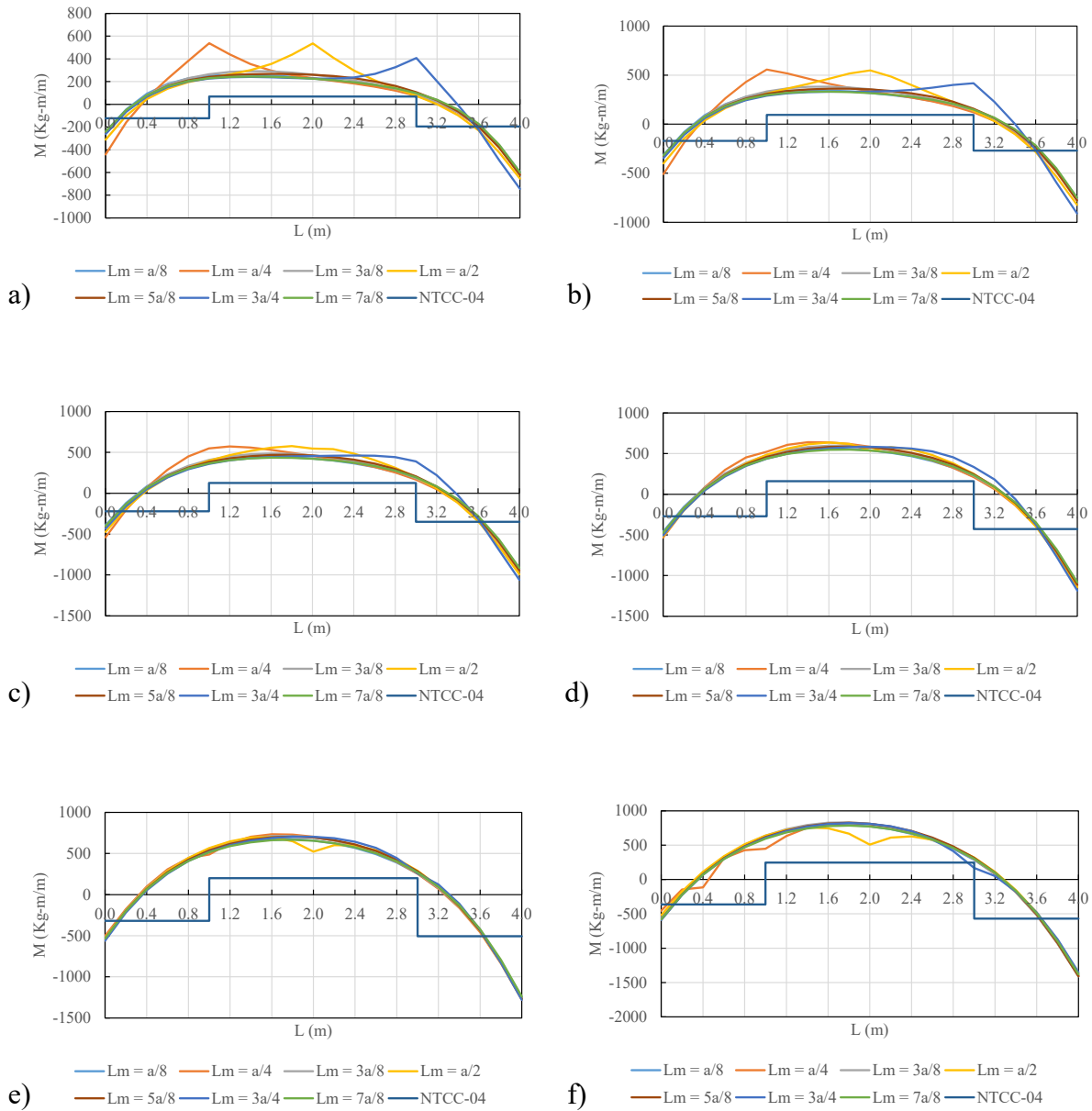


Figura I. 3. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero de borde con un lado corto discontinuo. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

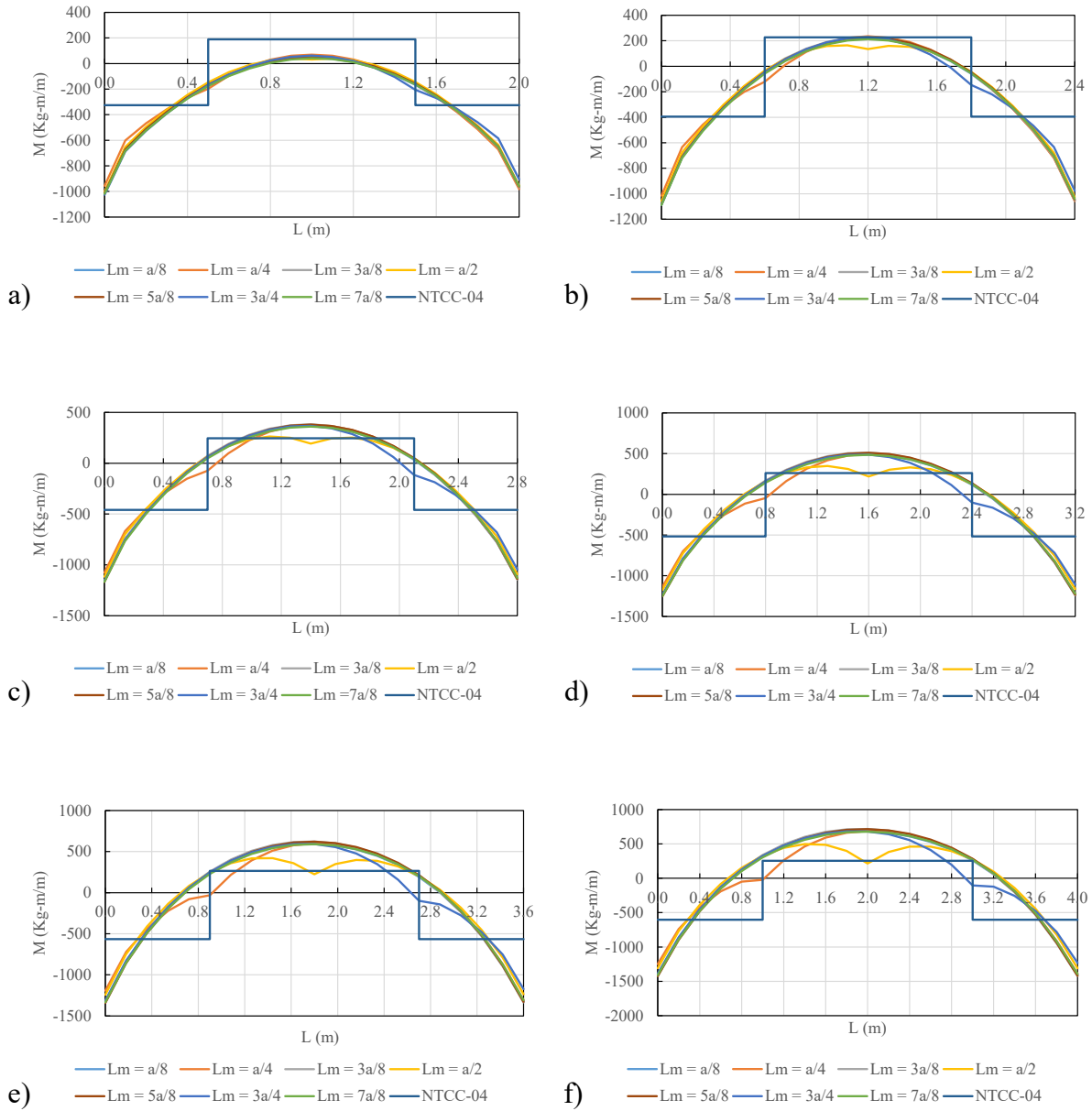


Figura I. 4. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero de borde con un lado corto discontinuo. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

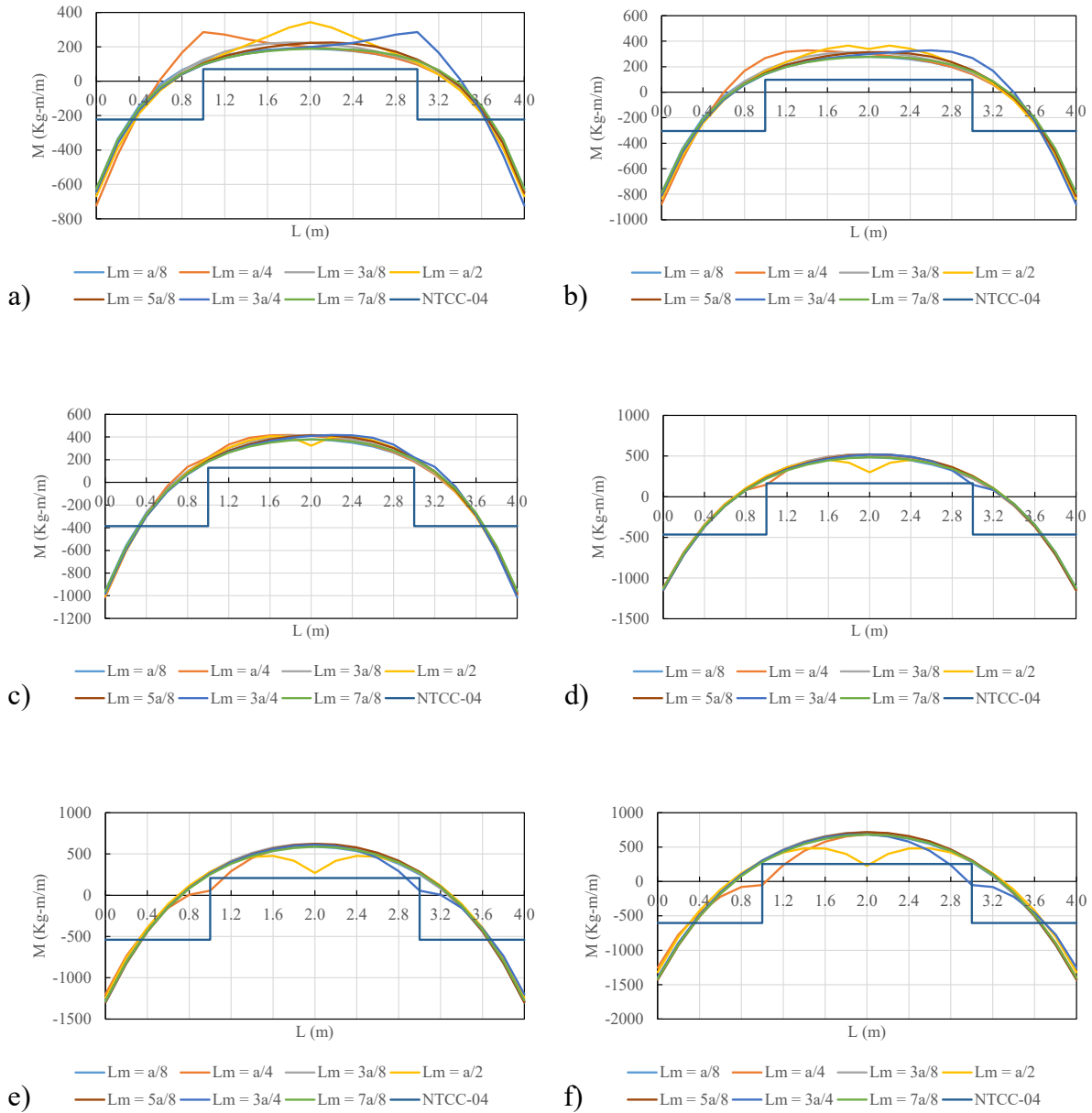


Figura I. 5. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero de borde con un lado largo discontinuo. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

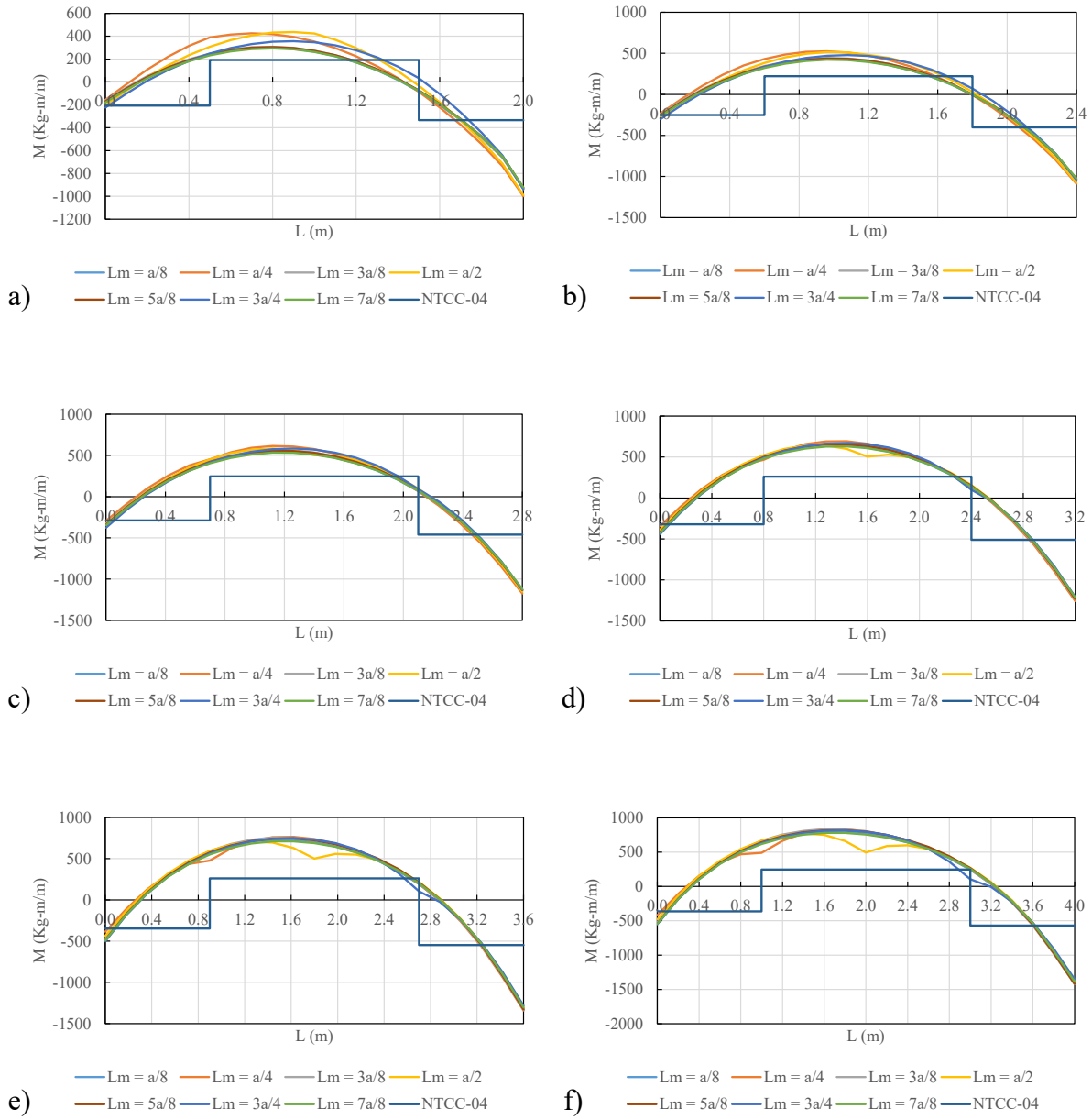


Figura I. 6. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero de borde con un lado largo discontinuo. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

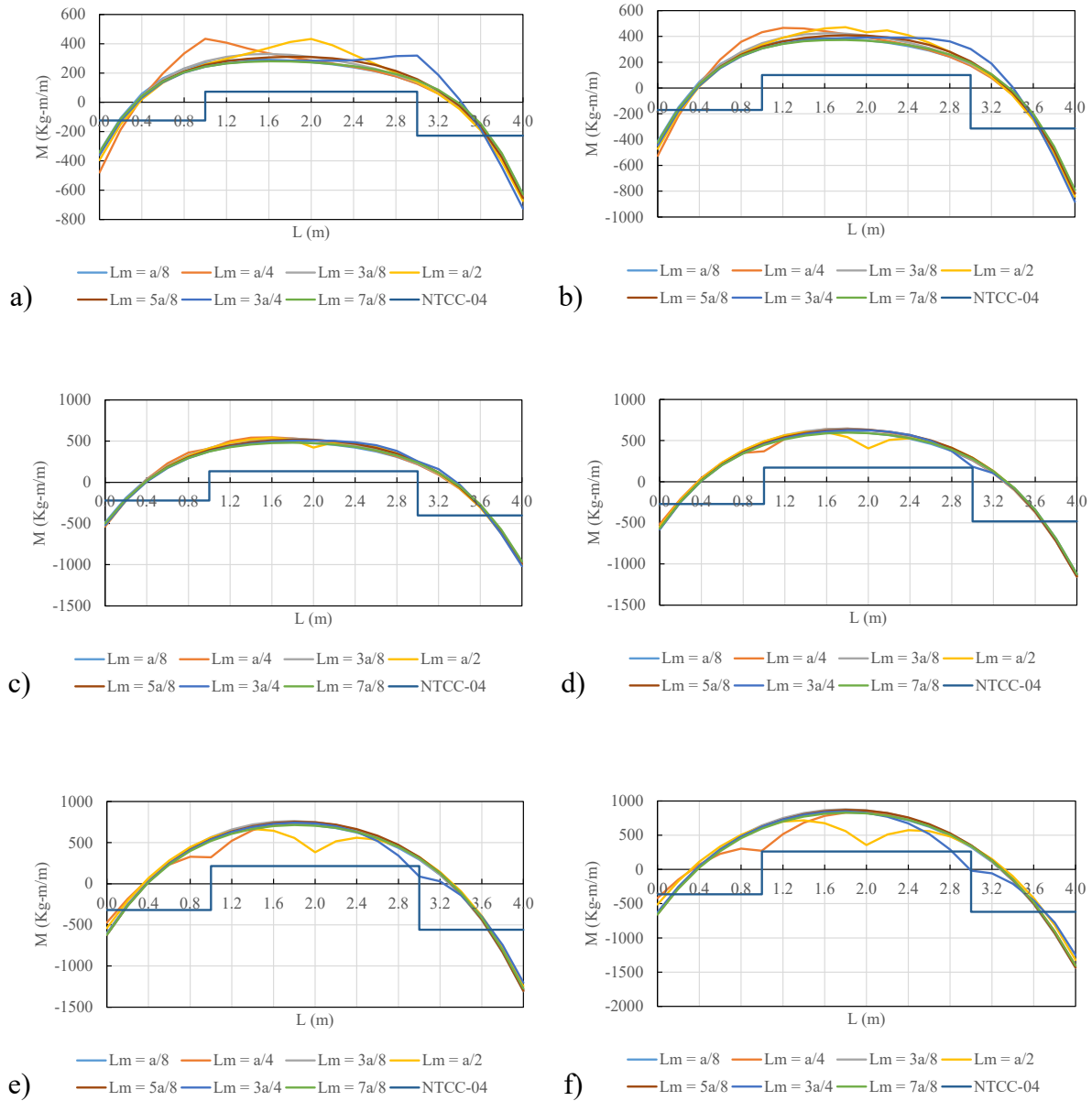


Figura I. 7. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero de esquina. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

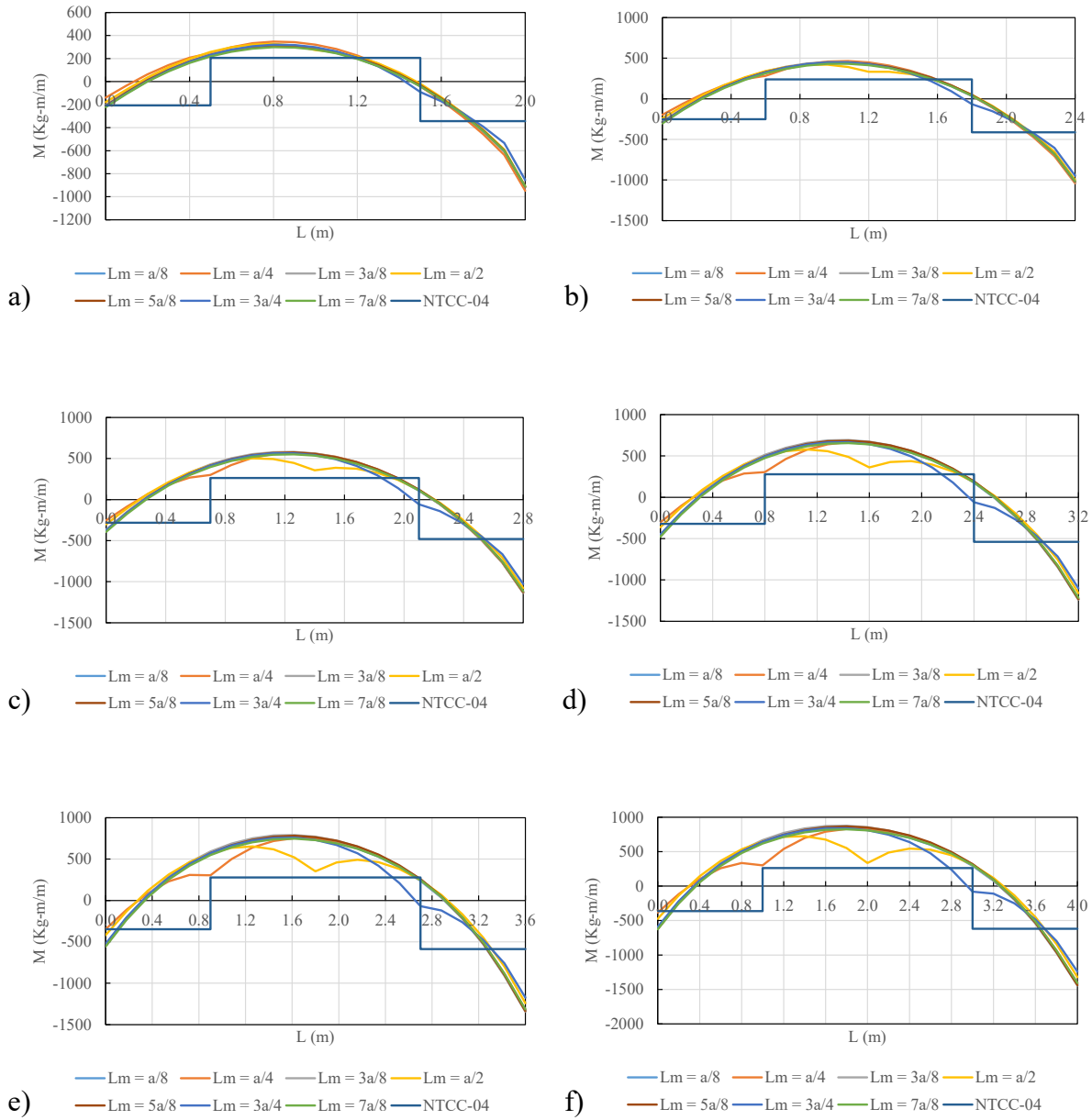


Figura I. 8. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero de esquina. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

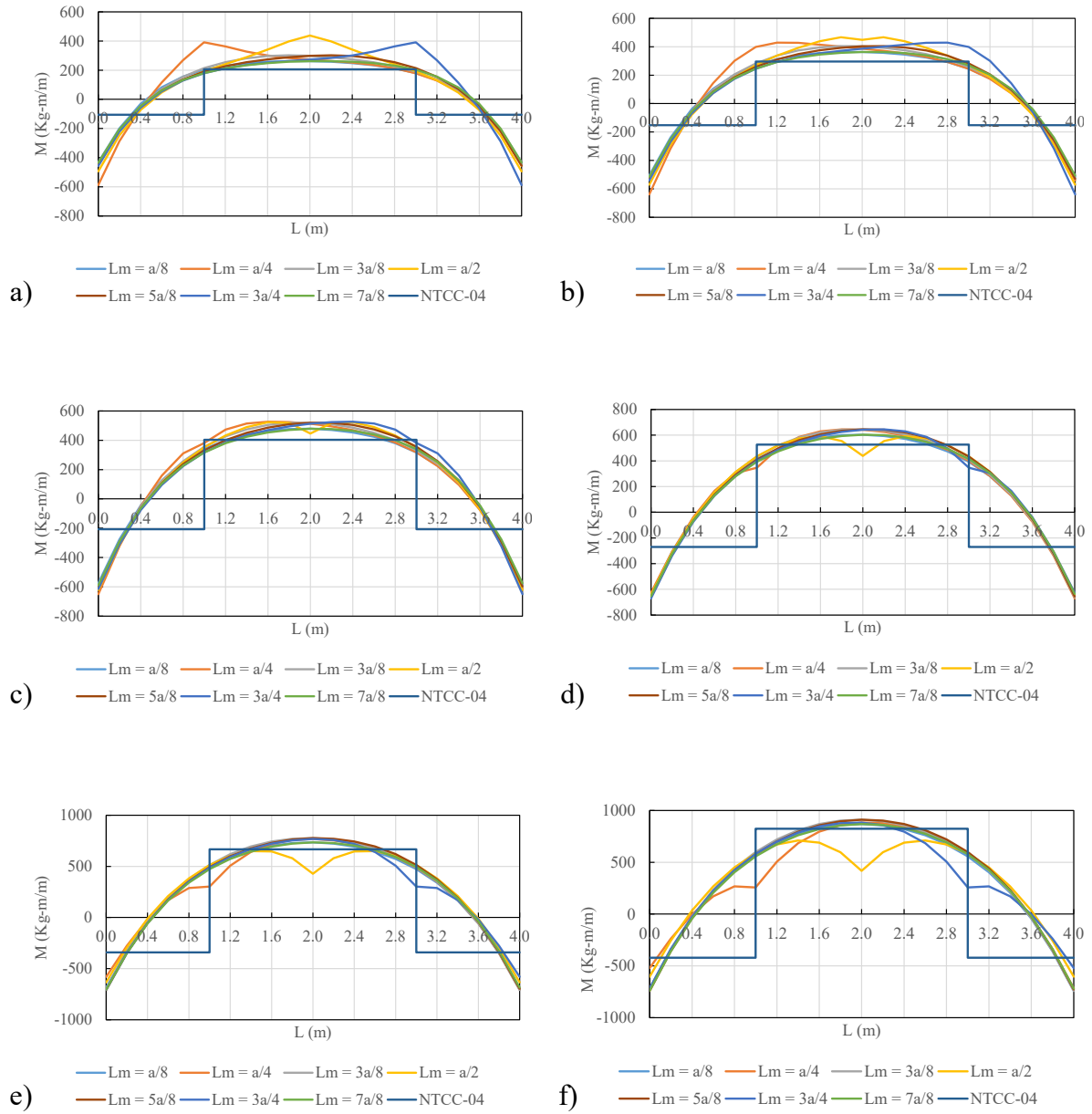


Figura I. 9. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero de extremo con tres bordes discontinuos y un lado largo continuo. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

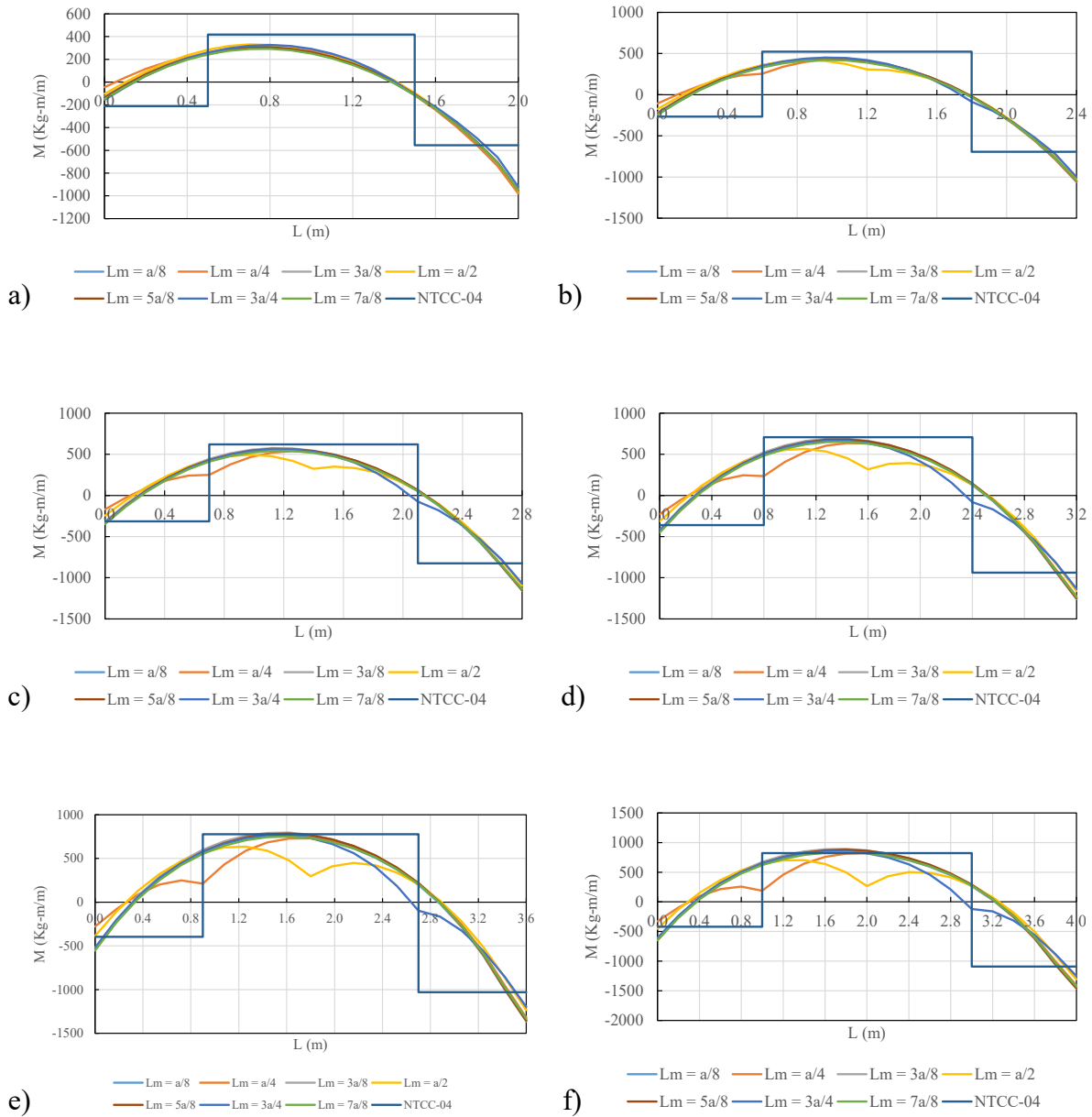


Figura I. 10. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero de extremo con tres bordes discontinuos y un lado largo continuo. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

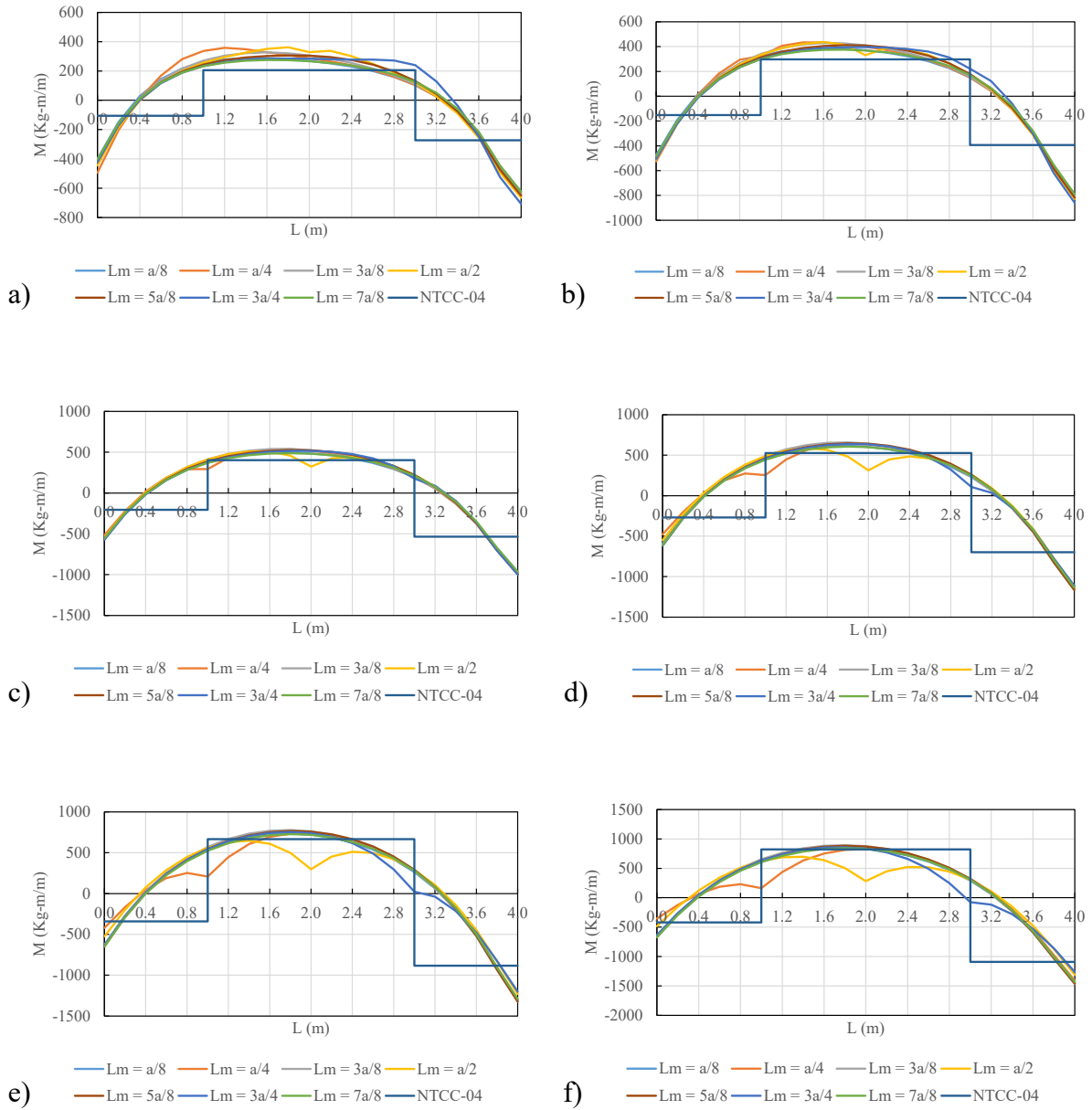


Figura I. 11. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero de extremo con tres bordes discontinuos y un lado corto continuo. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

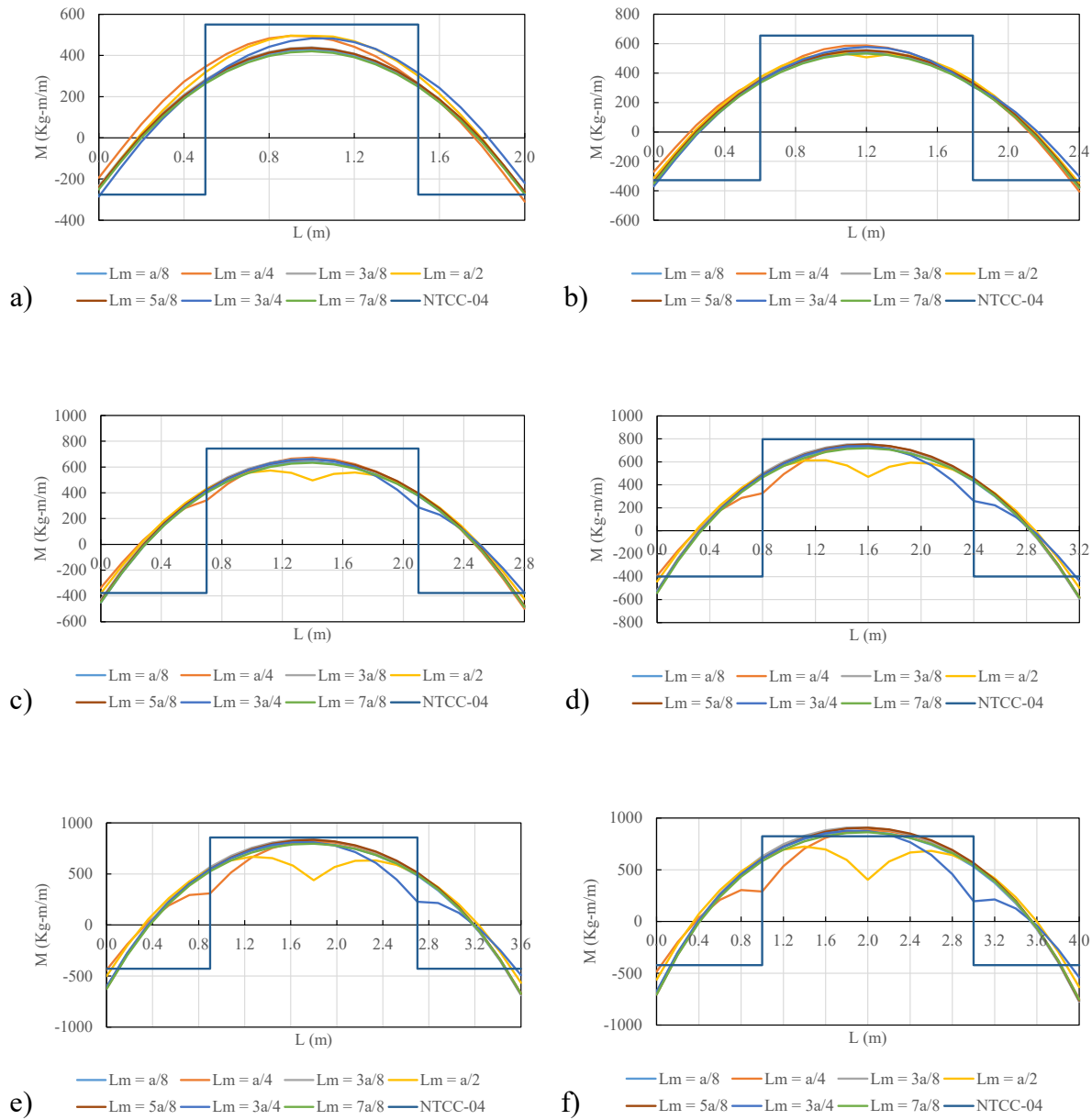


Figura I. 12. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero de extremo con tres bordes discontinuos y un lado corto continuo. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

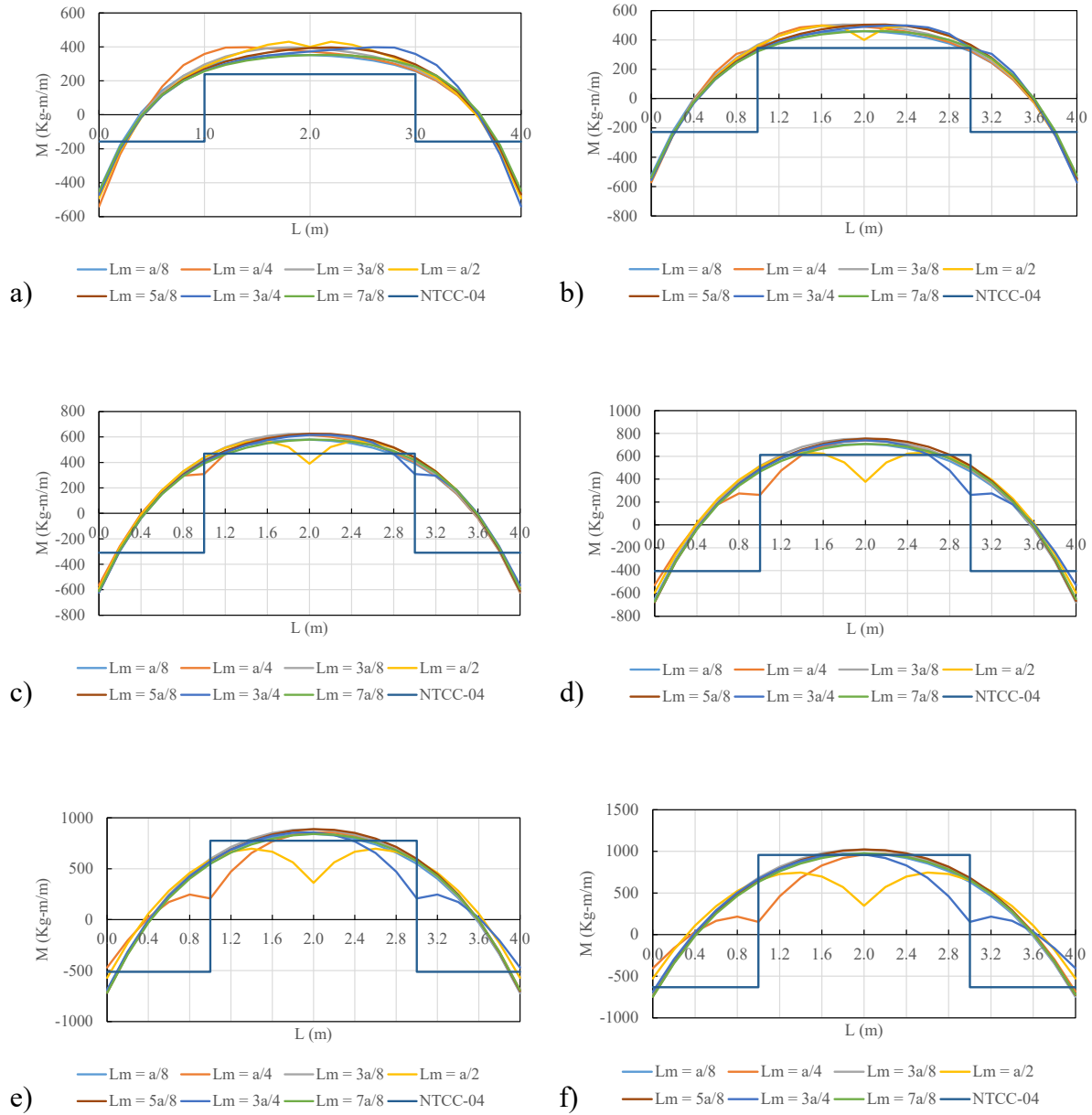


Figura I. 13. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero aislado. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

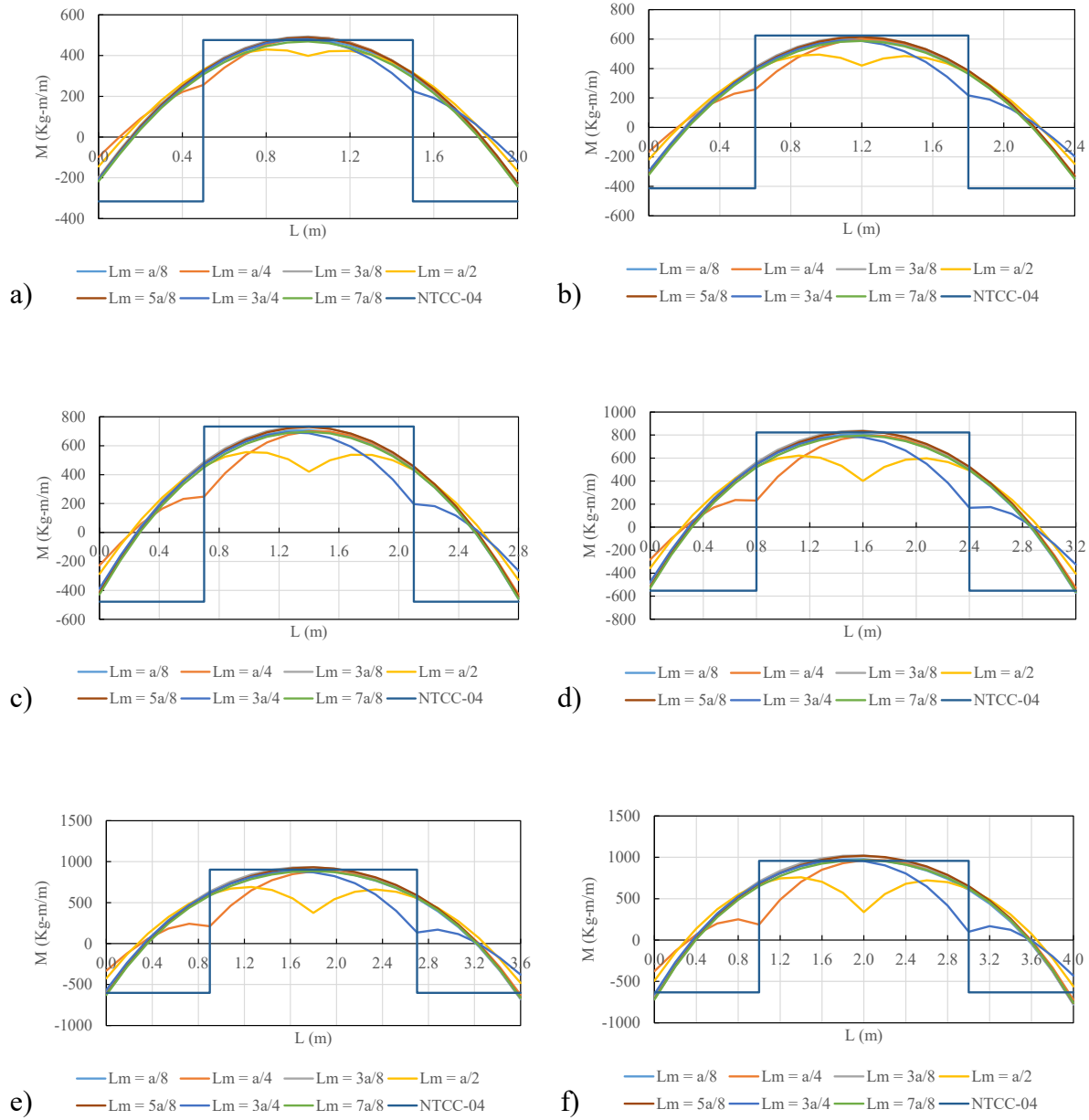


Figura I. 14. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero aislado. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

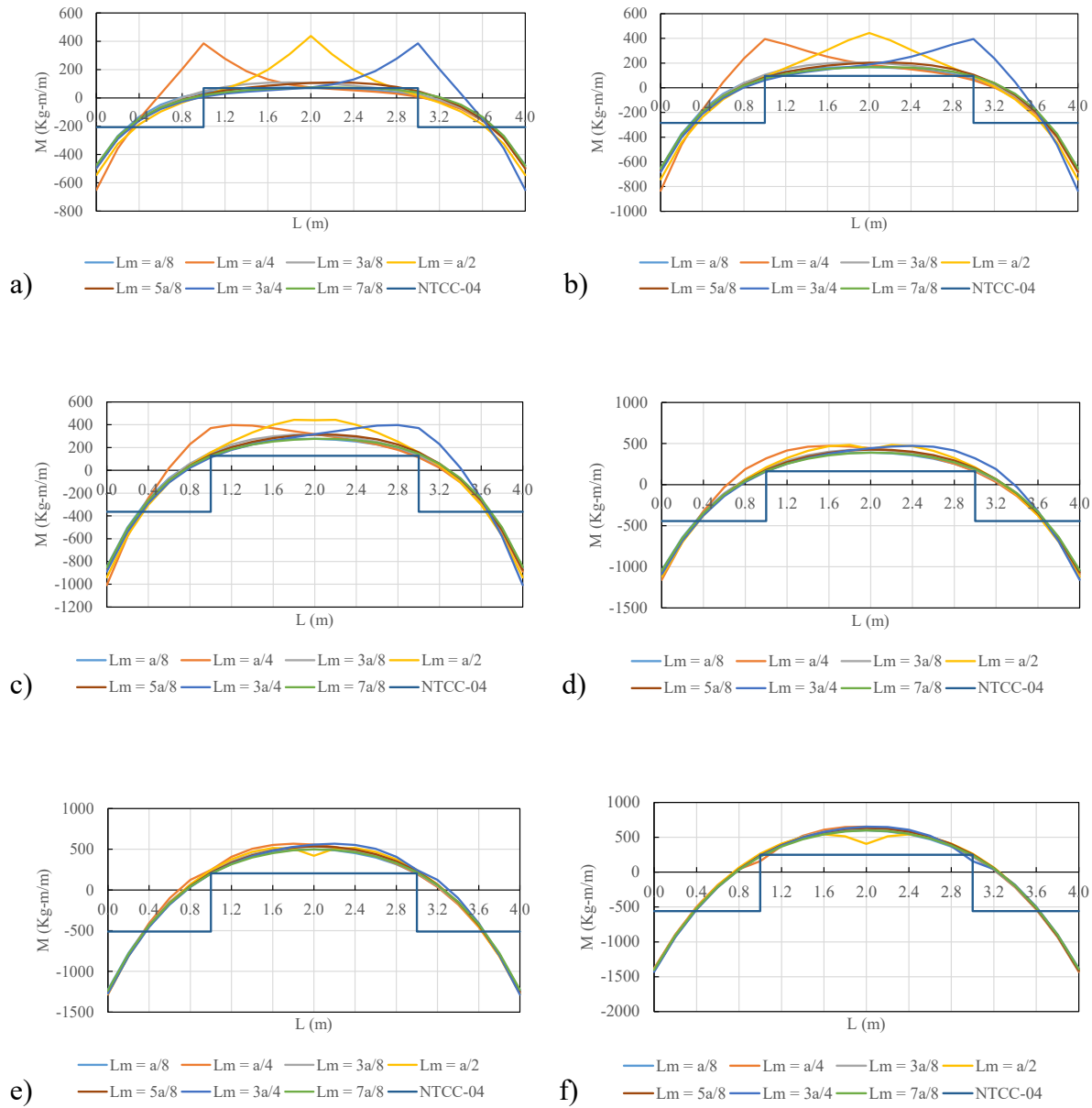


Figura I. 15. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero interior. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

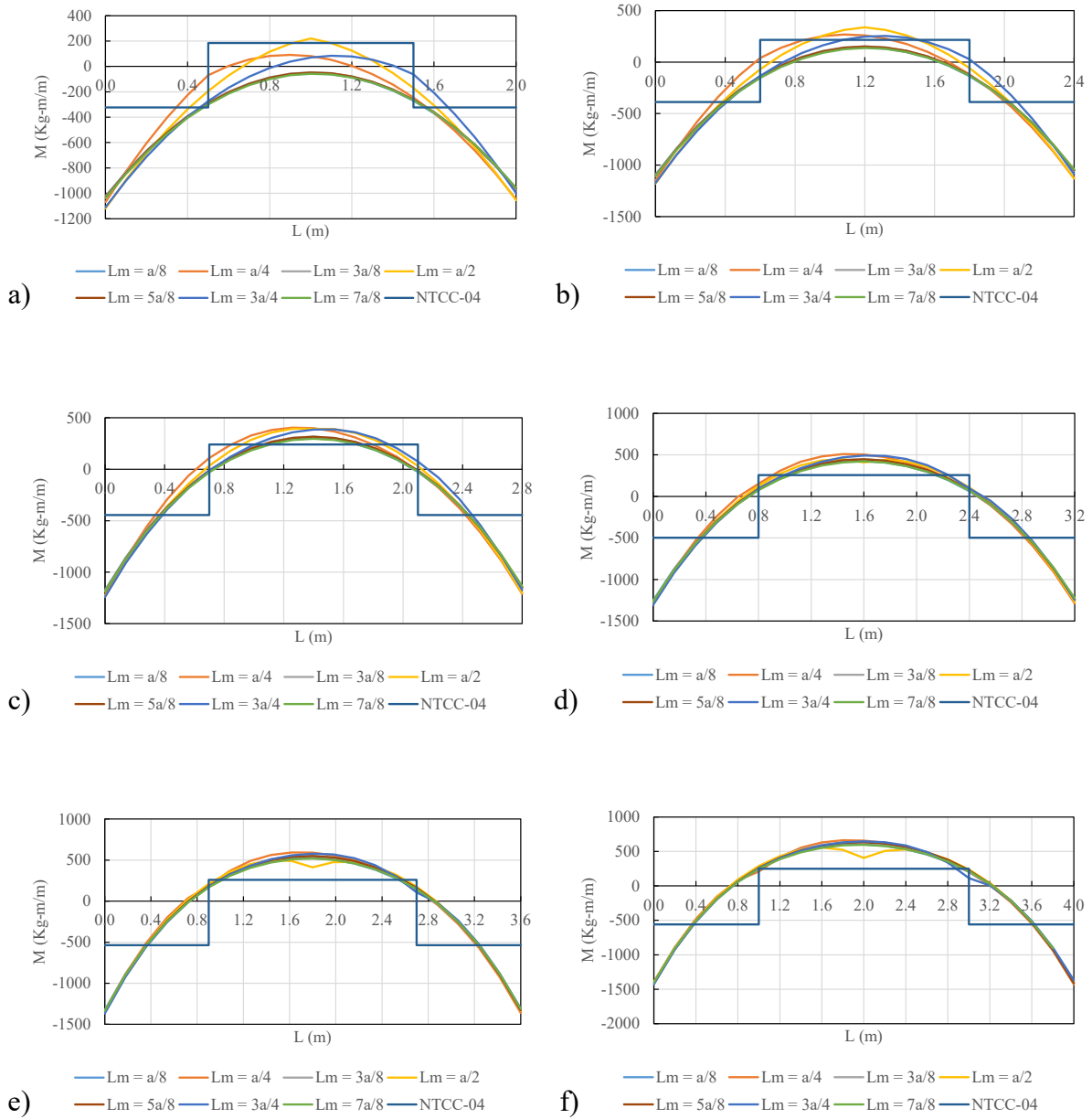


Figura I. 16. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero interior. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

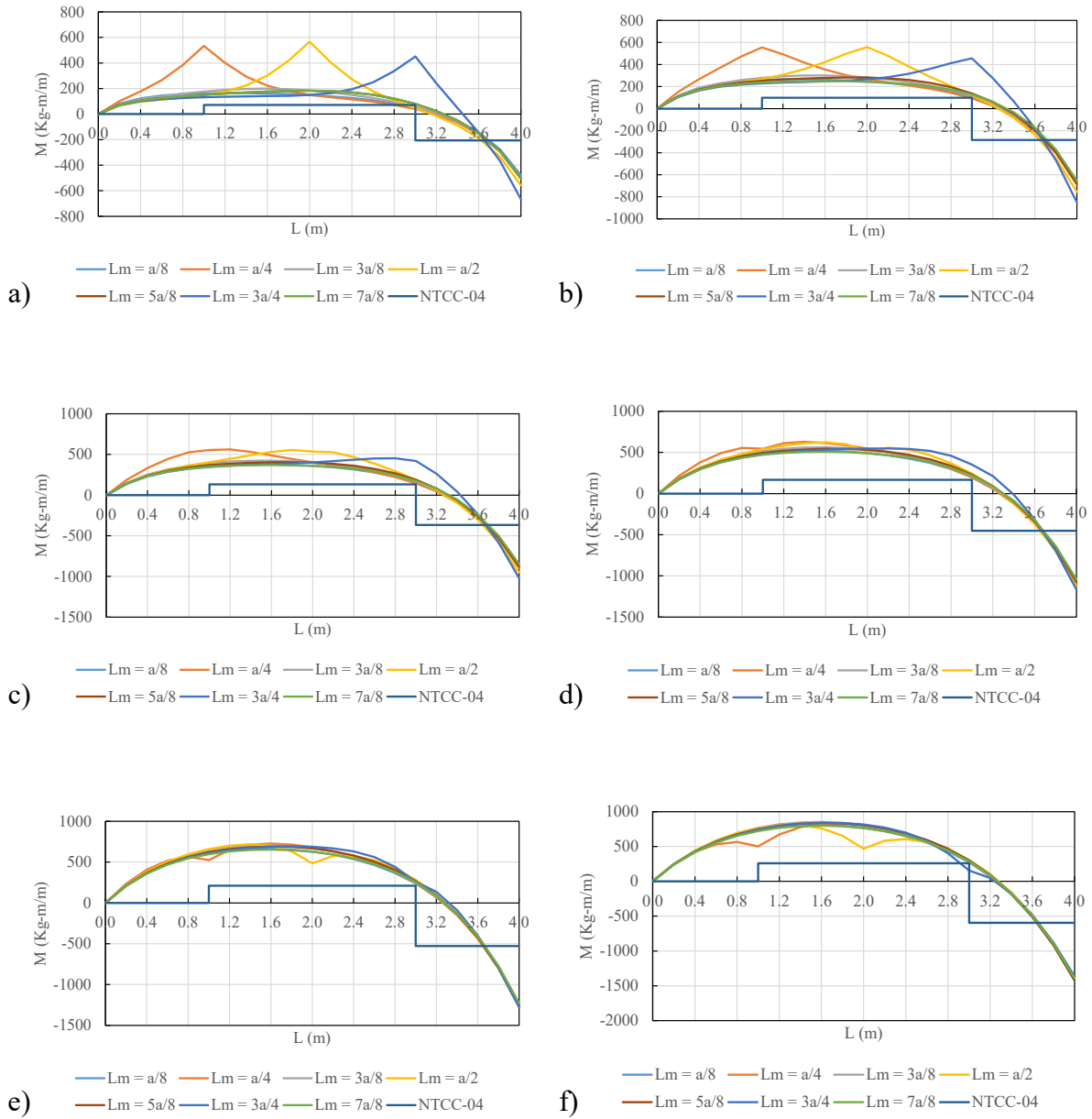


Figura I. 17. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero de borde con un lado corto discontinuo. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

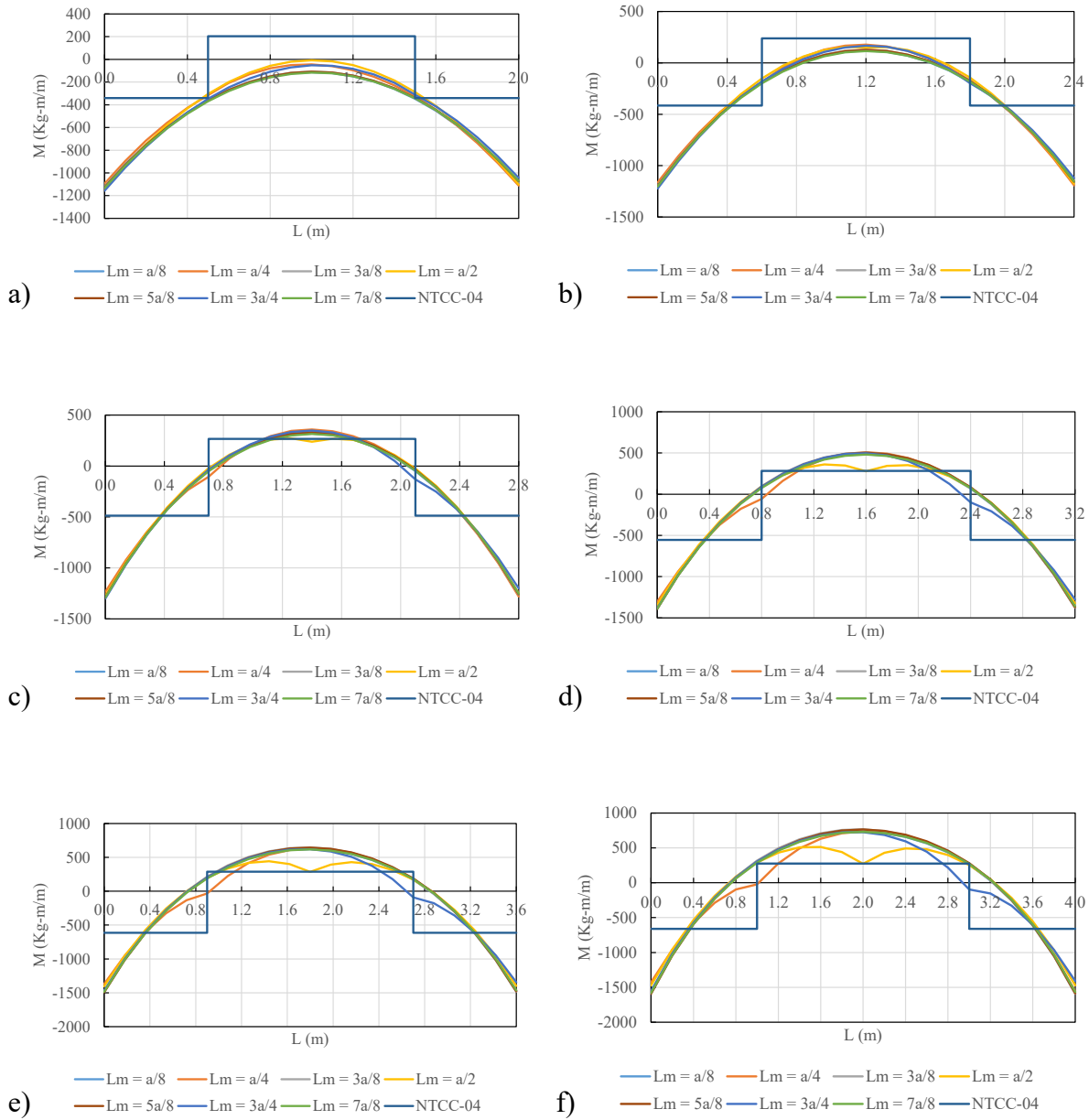


Figura I. 18. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero de borde con un lado corto discontinuo. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

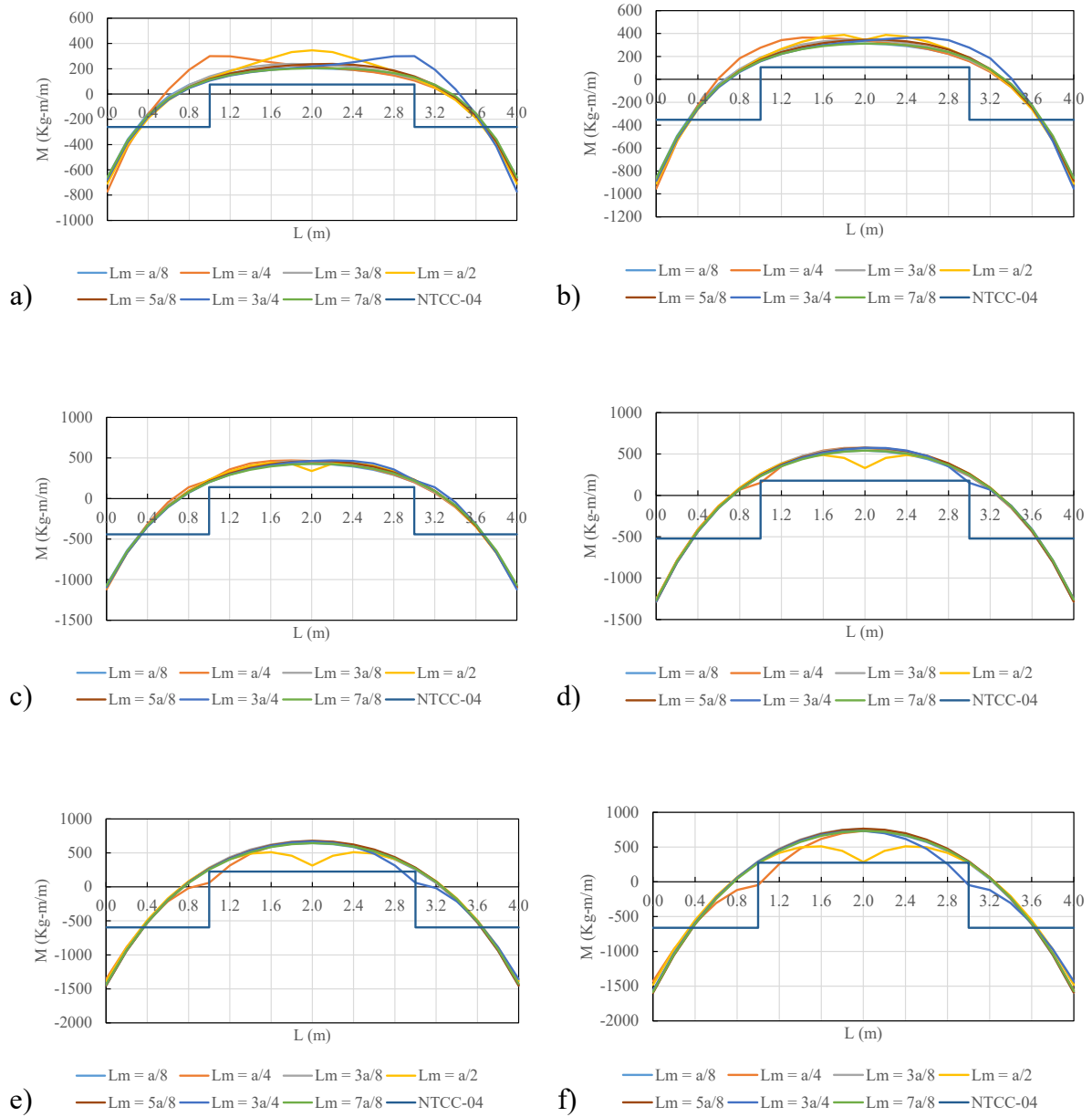


Figura I. 19. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero de borde con un lado largo discontinuo. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

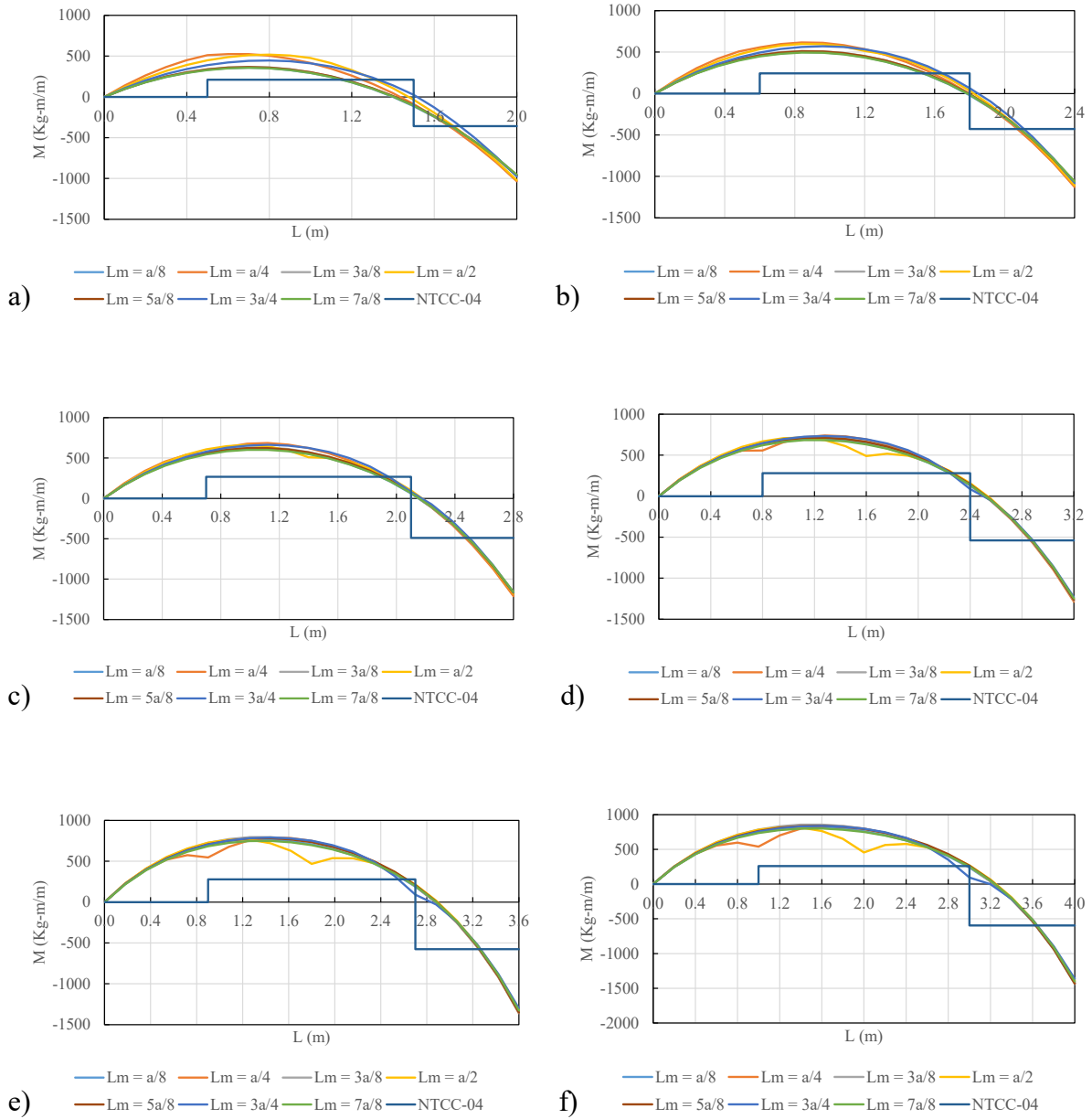


Figura I. 20. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero de borde con un lado largo discontinuo. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

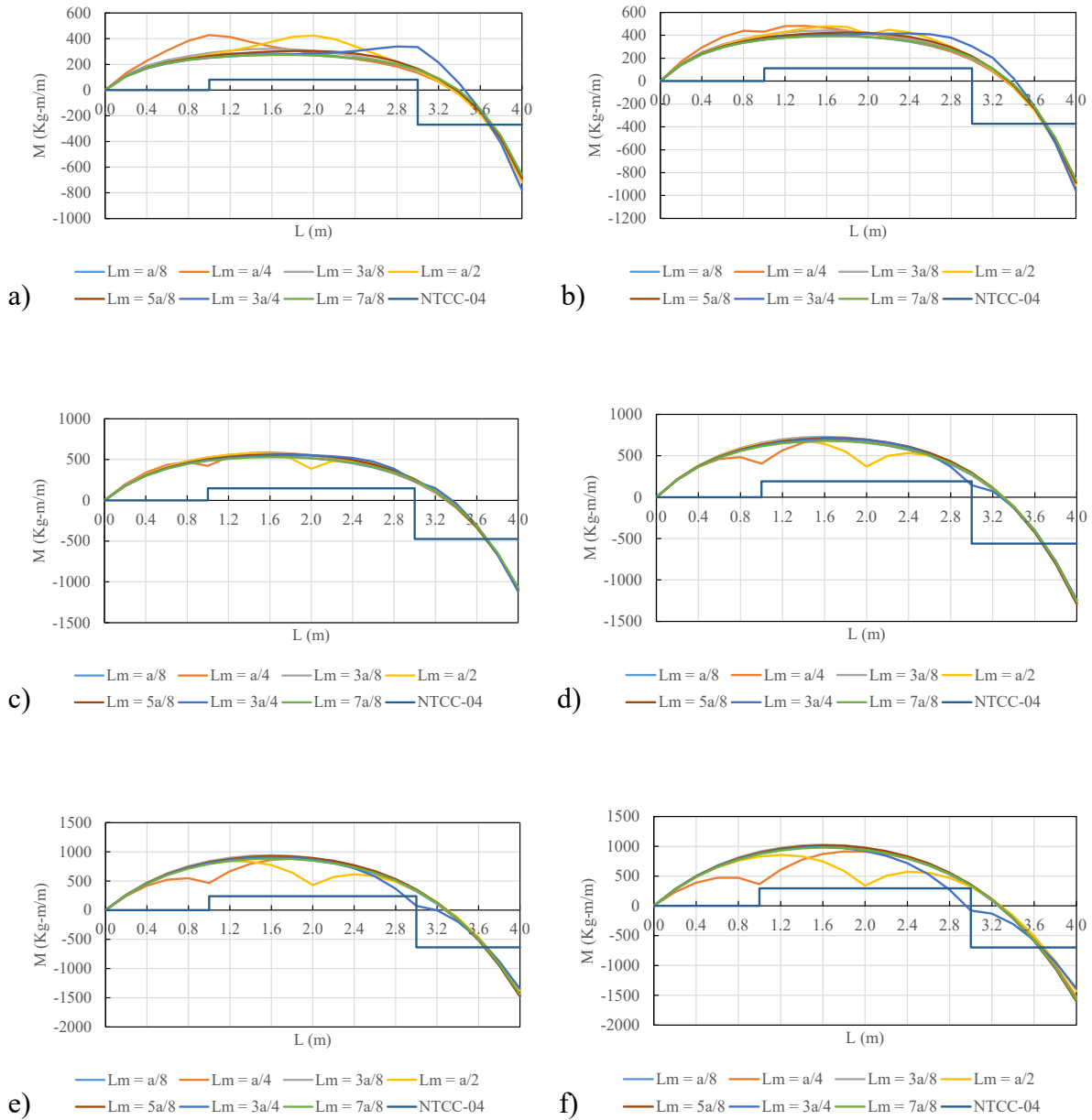


Figura I. 21. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero de esquina. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

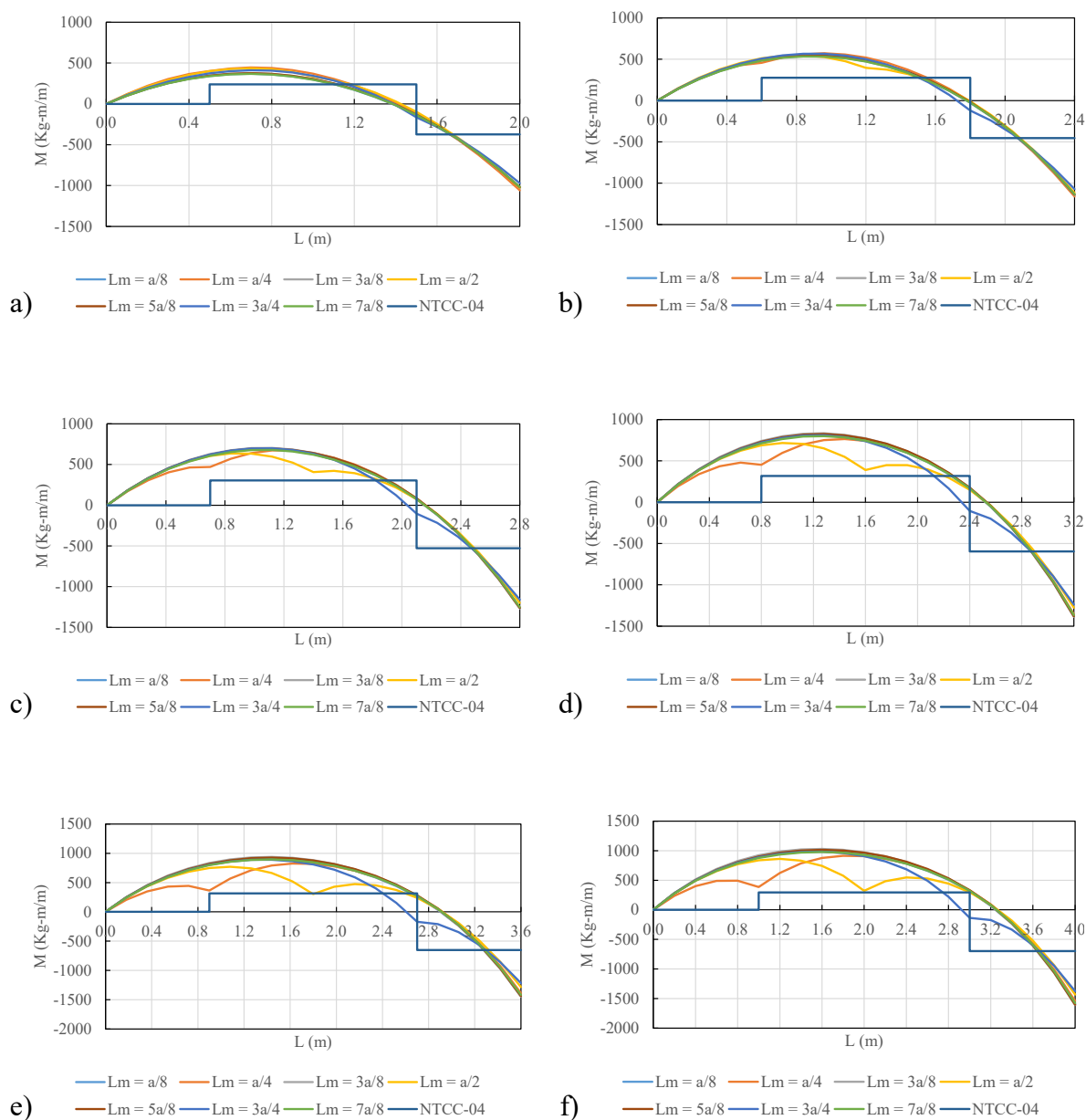


Figura I. 22. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero de esquina. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

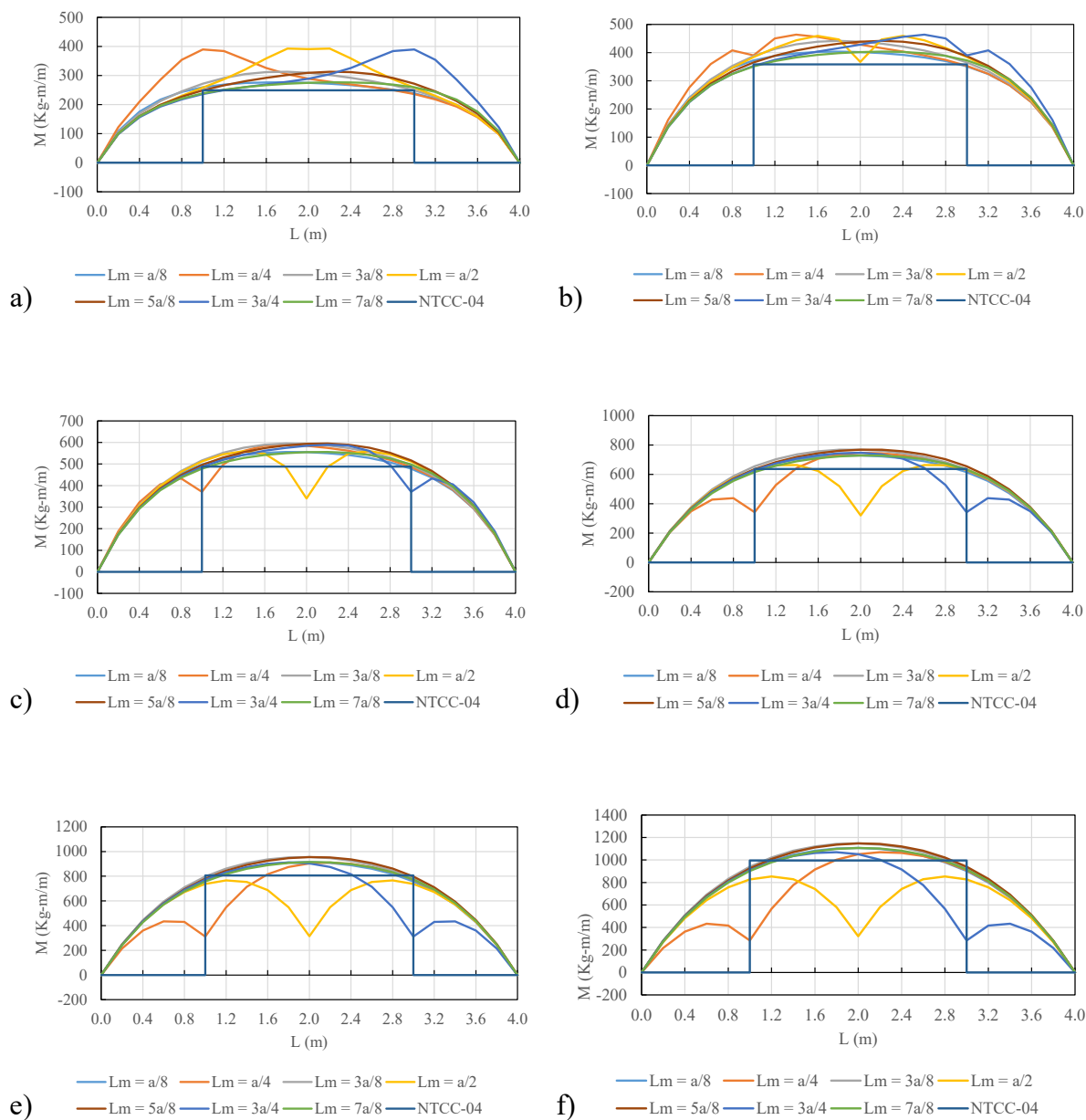


Figura I. 23. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero de extremo con tres bordes discontinuos y un lado largo continuo. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

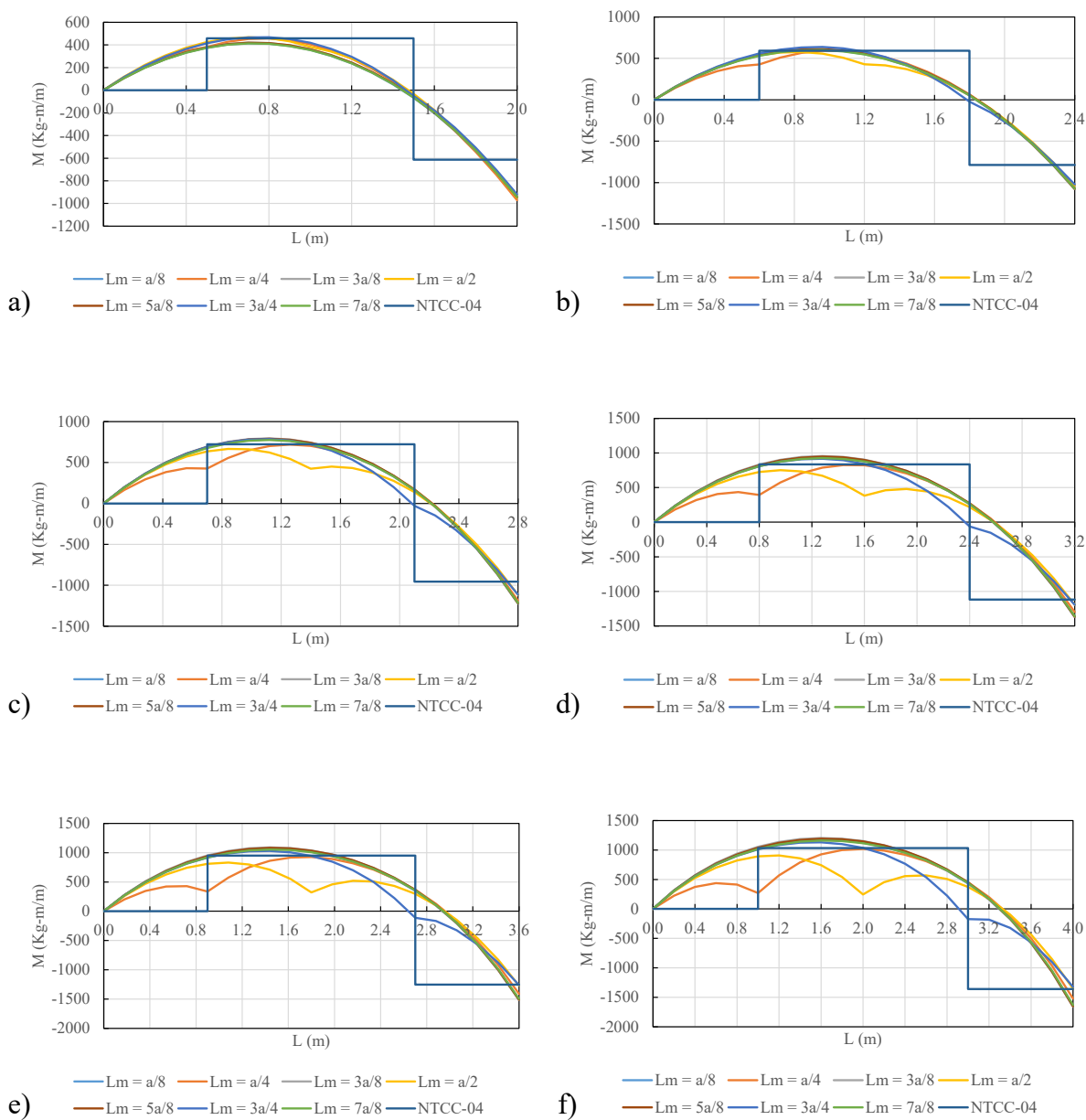


Figura I. 24. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero de extremo con tres bordes discontinuos y un lado largo continuo. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

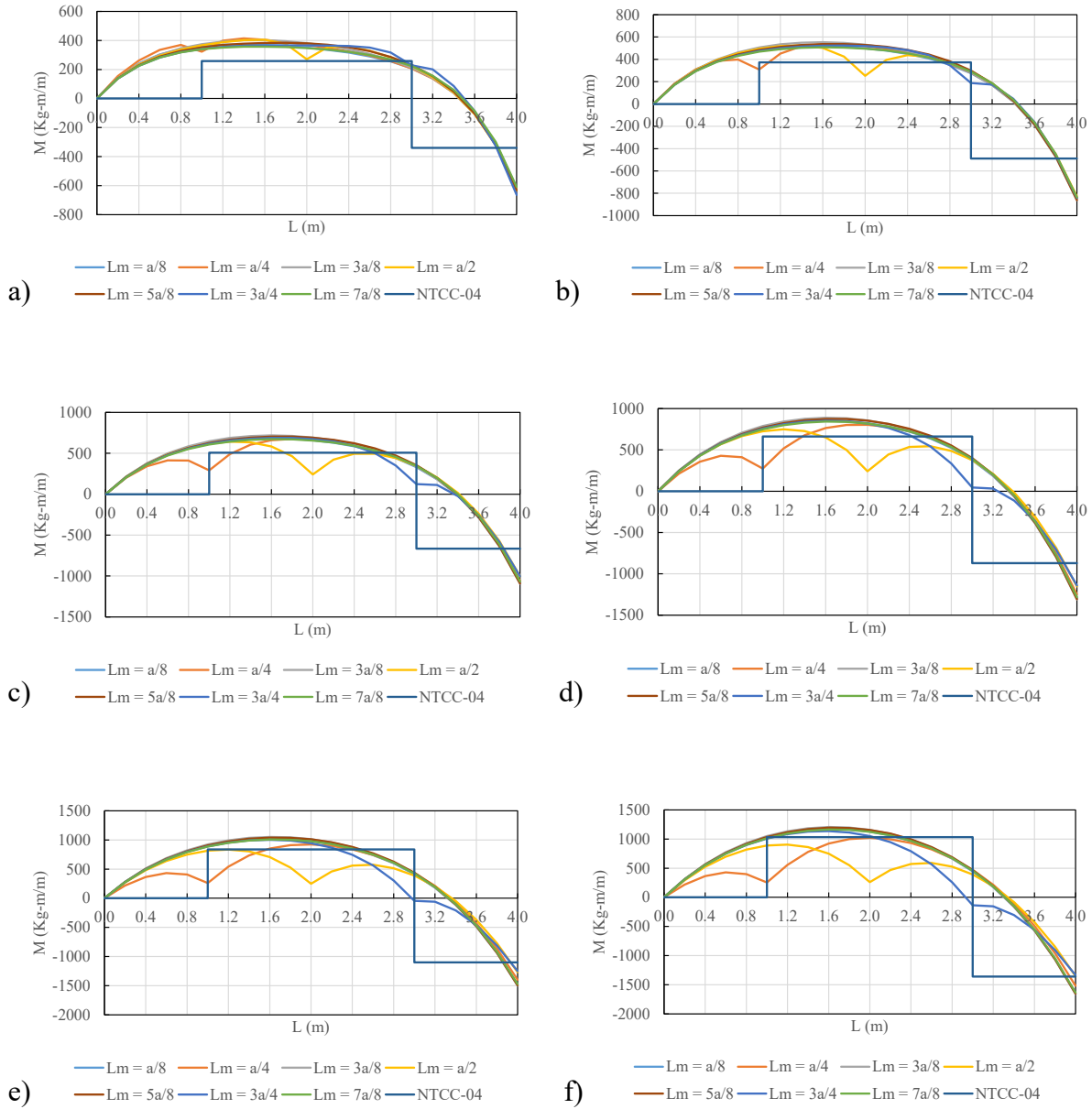


Figura I. 25. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero de extremo con tres bordes discontinuos y un lado corto continuo. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

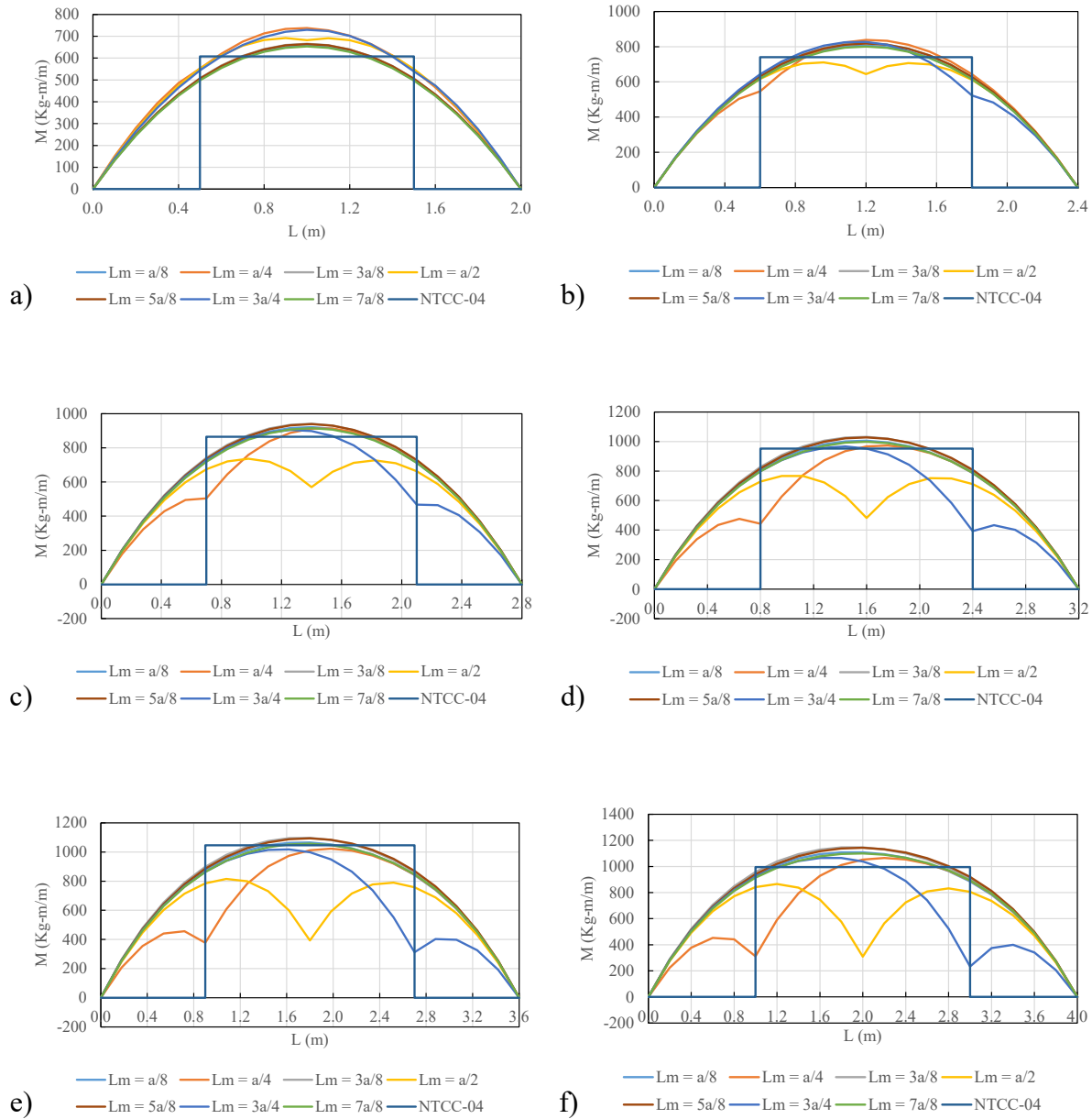


Figura I. 26. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero de extremo con tres bordes discontinuos y un lado corto continuo. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

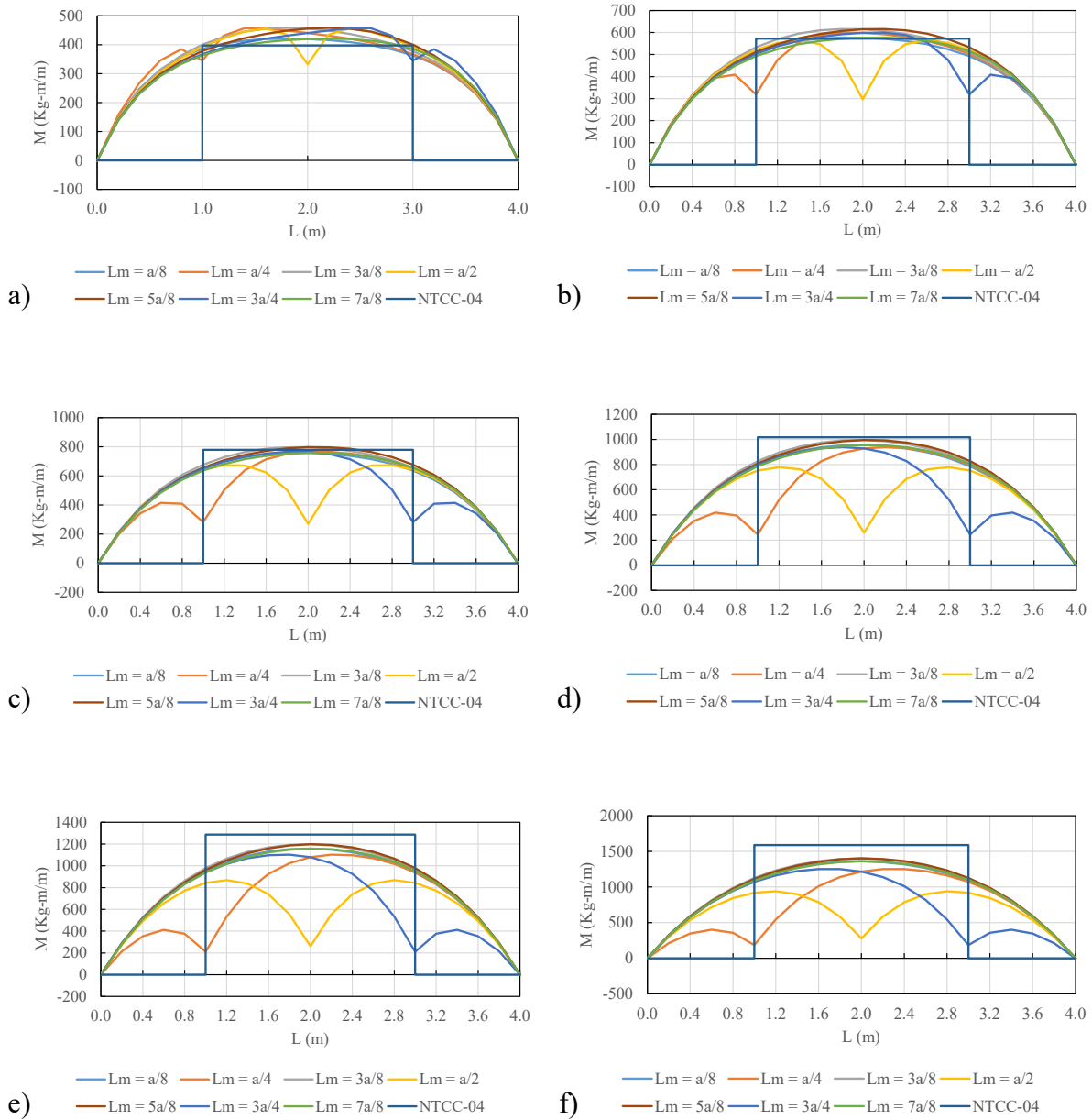


Figura I. 27. Diagrama de momentos al centro del claro de un tablero aislado. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

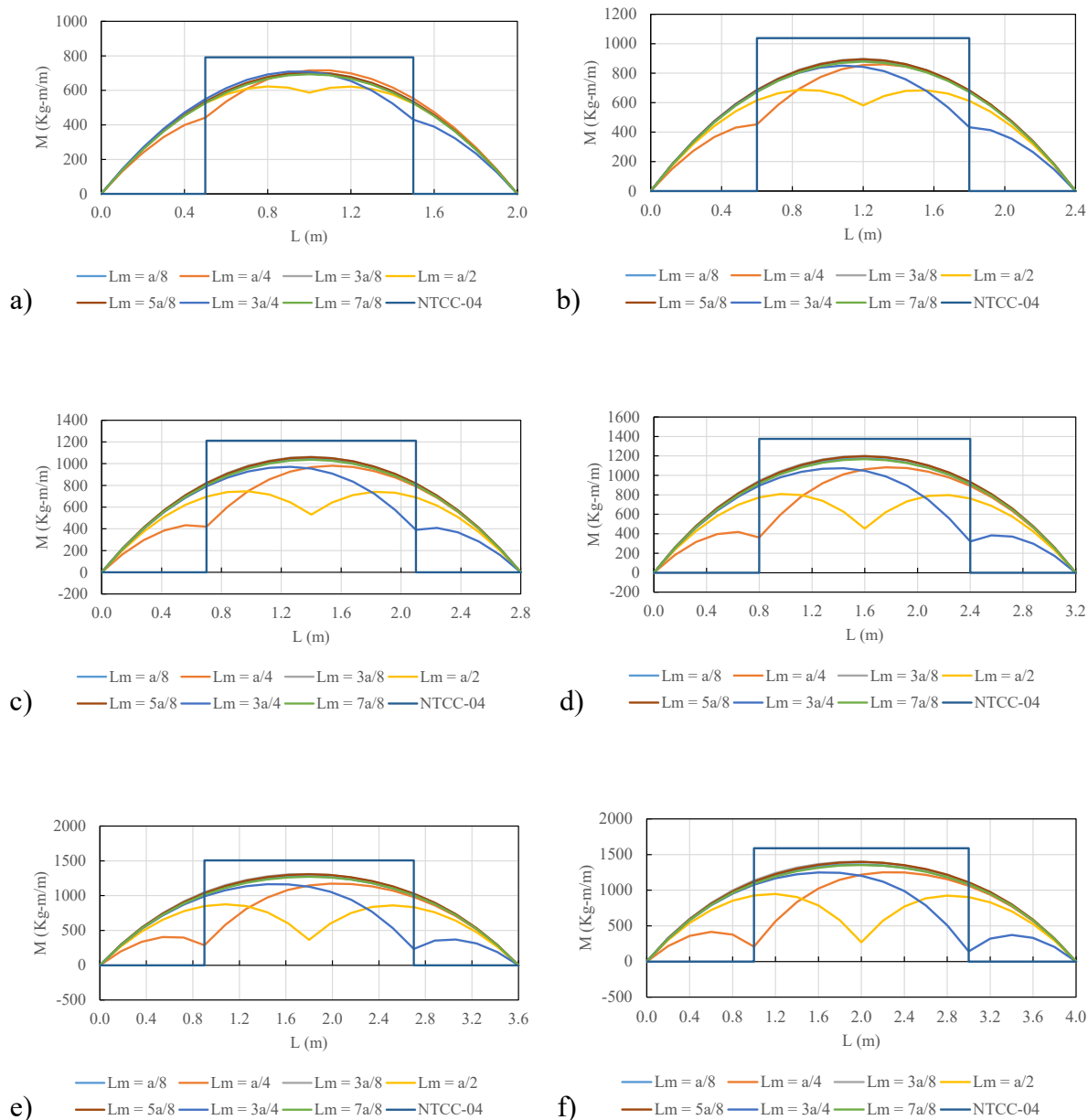


Figura I. 28. Diagramas de momento al centro del claro de un tablero aislado. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

Anexo II Desplazamientos

En este anexo se muestran las curvas de los desplazamientos obtenidos de los modelos numéricos al centro del tablero en estudio. En la mayoría de los casos, los desplazamientos obtenidos son menores al 30% de los permitidos por las NTCC-04, por lo que en todos los casos se satisfacen las condiciones de estado límite de servicio.

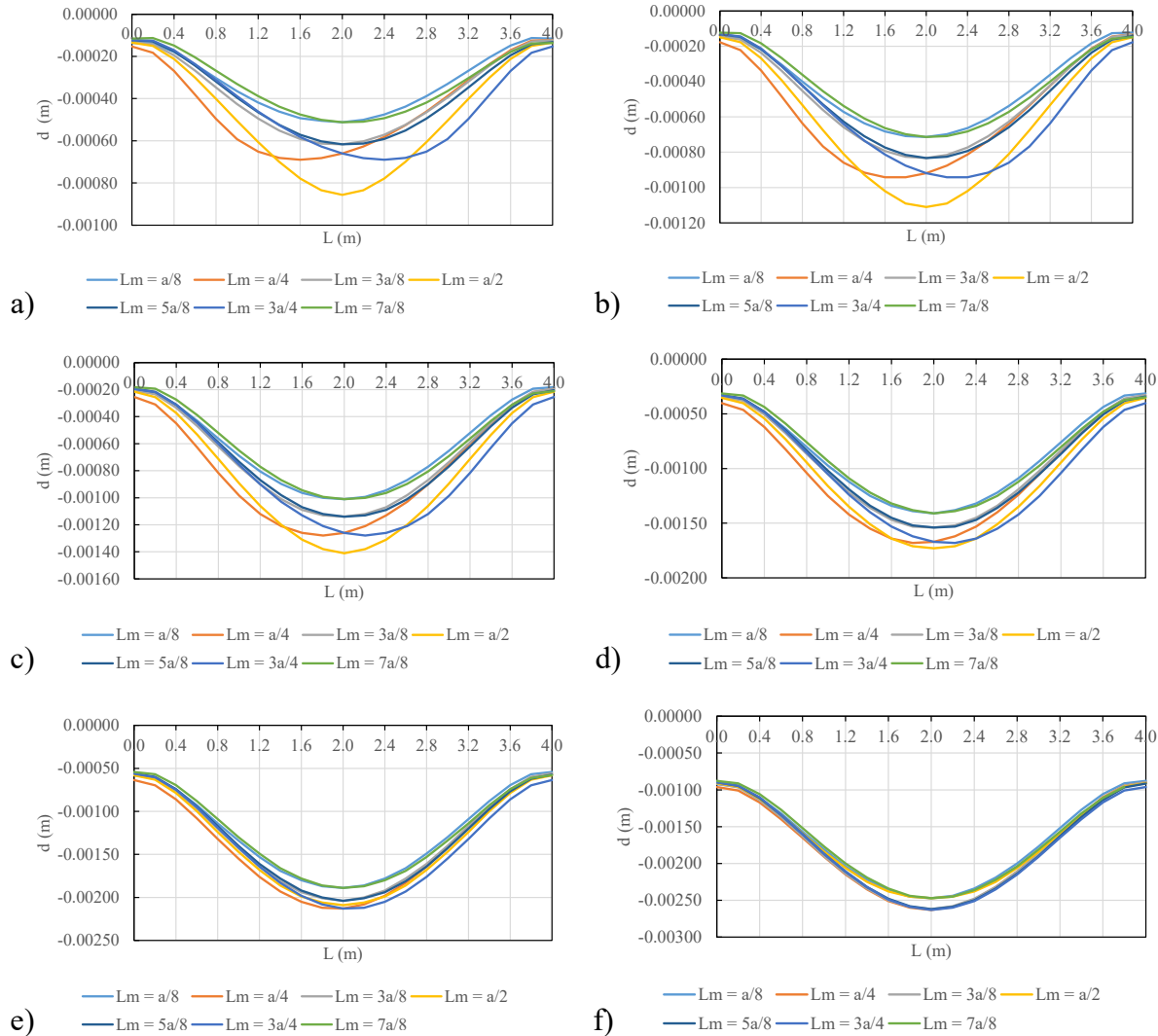


Figura II. 1. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero interior. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

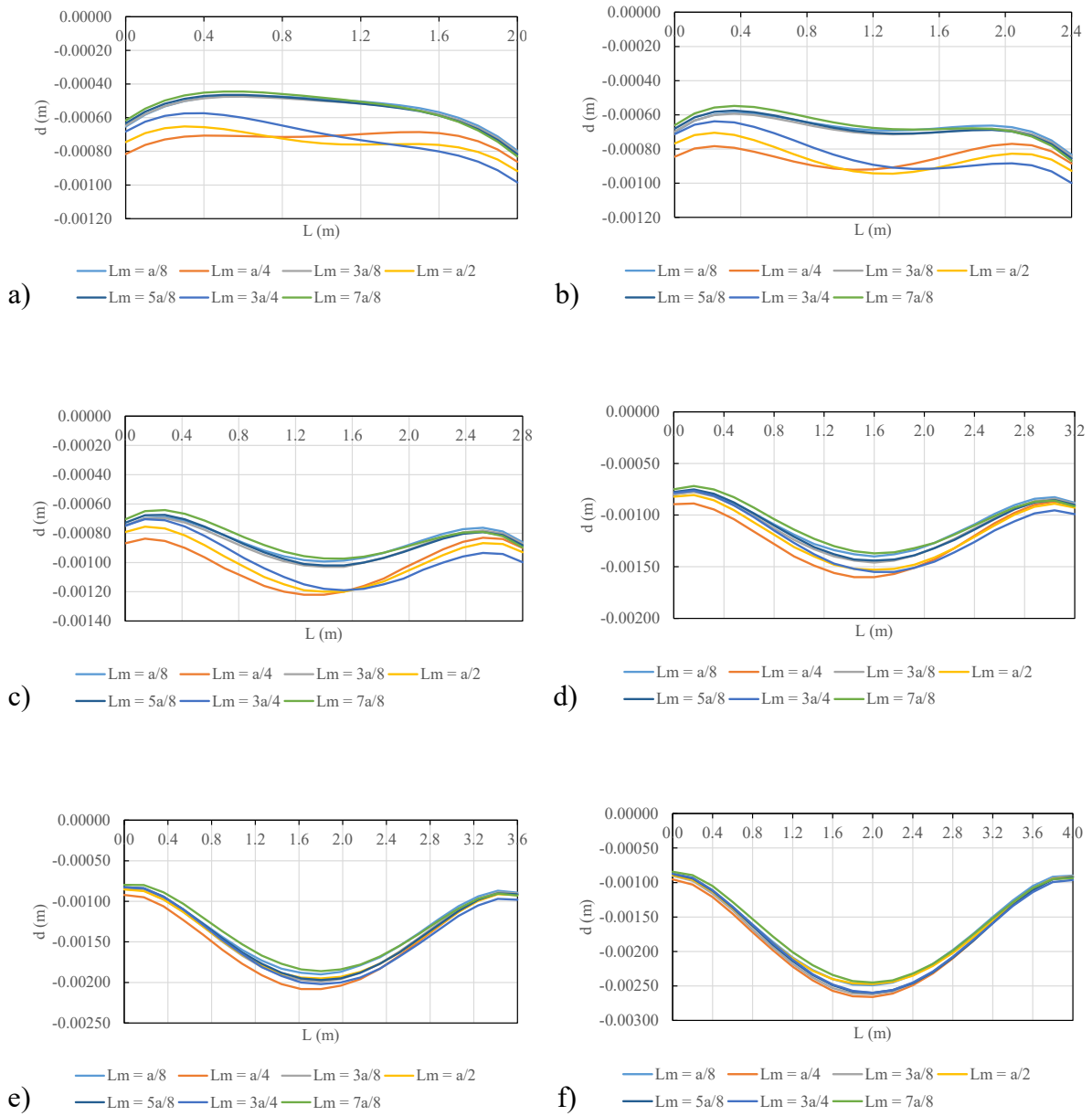


Figura II. 2. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero interior. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

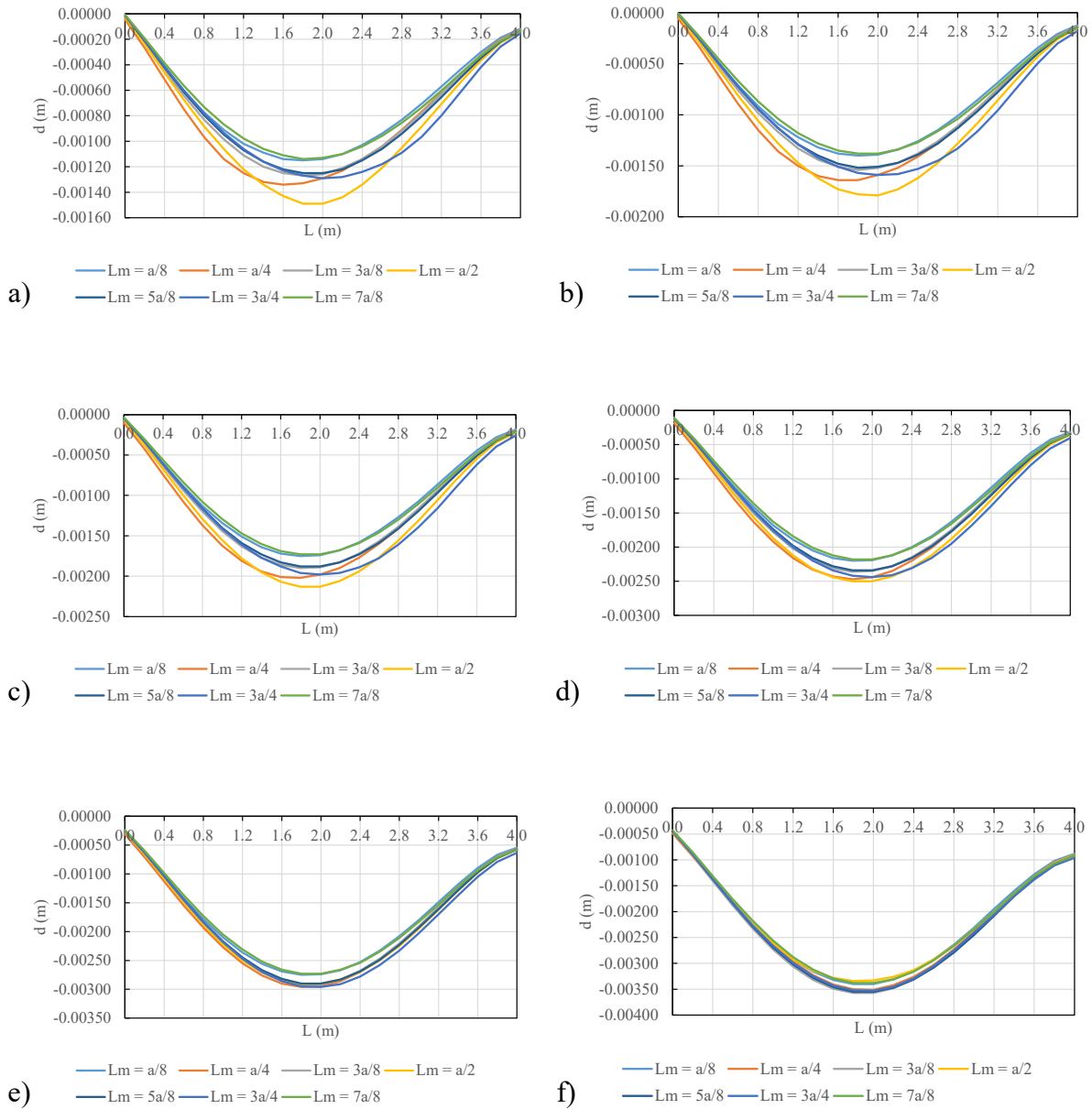


Figura II. 3. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero de borde con un lado corto discontinuo. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

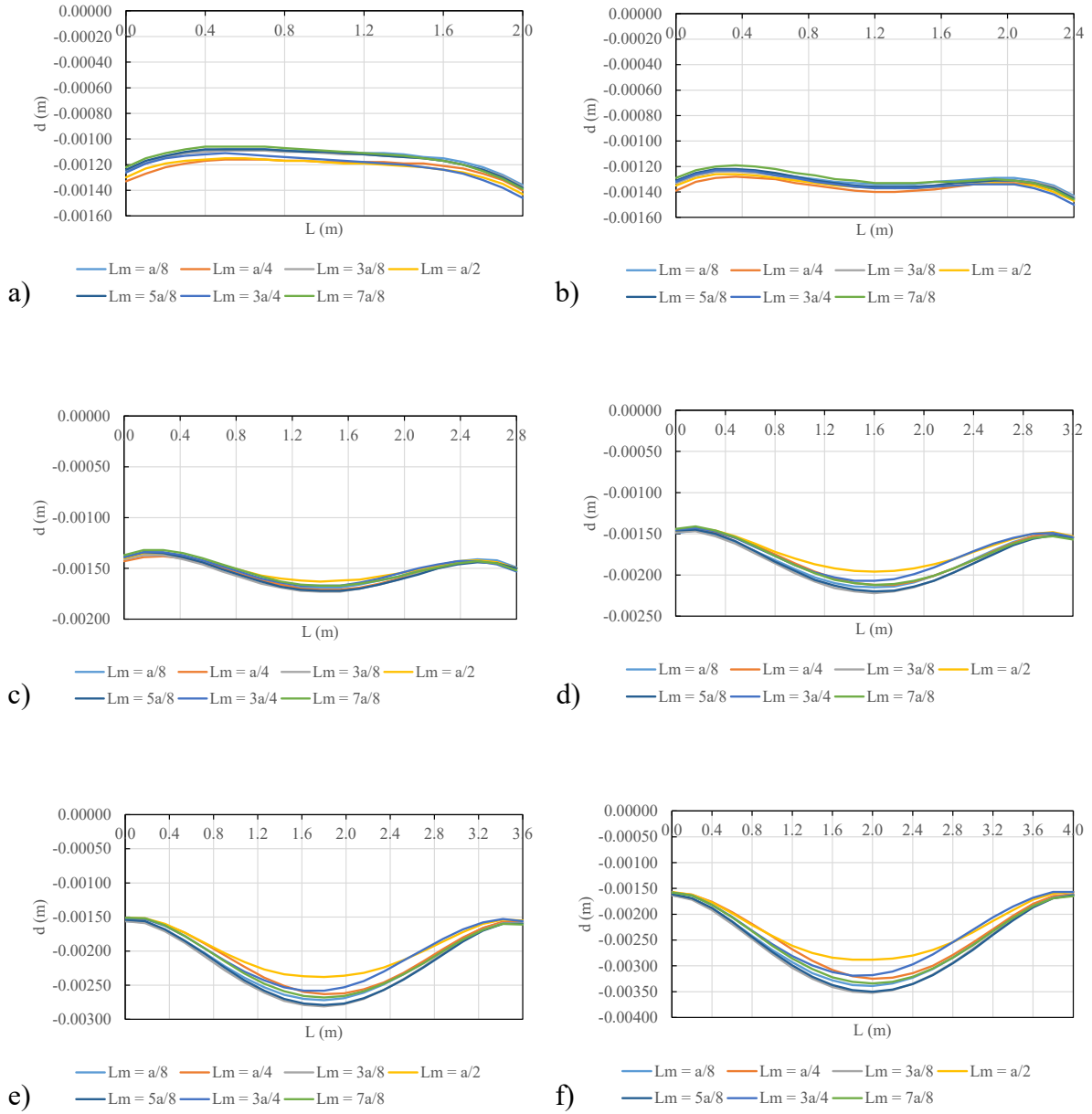


Figura II. 4. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero de borde con un lado corto discontinuo. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

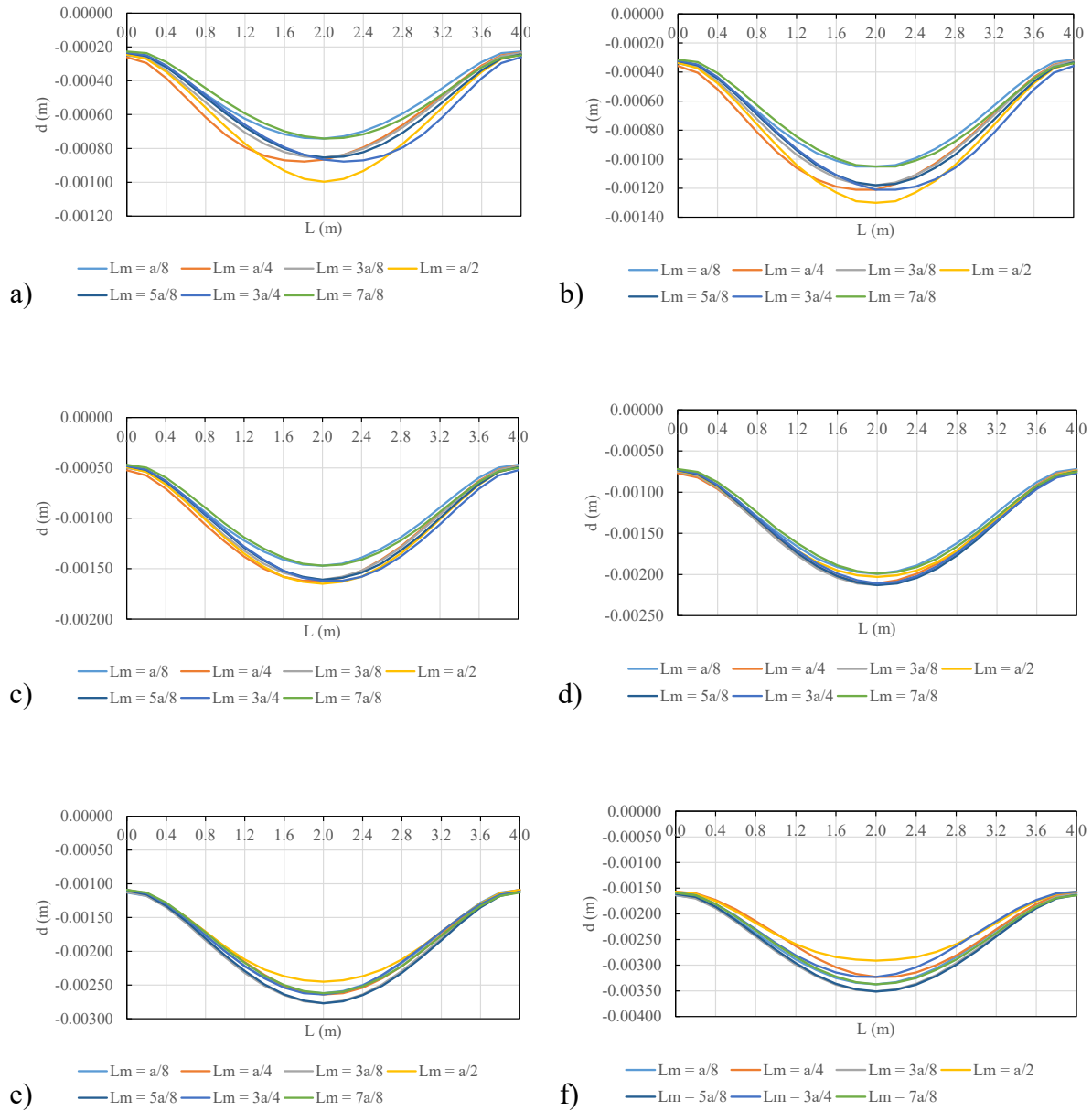


Figura II. 5. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero de borde con un lado largo discontinuo. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

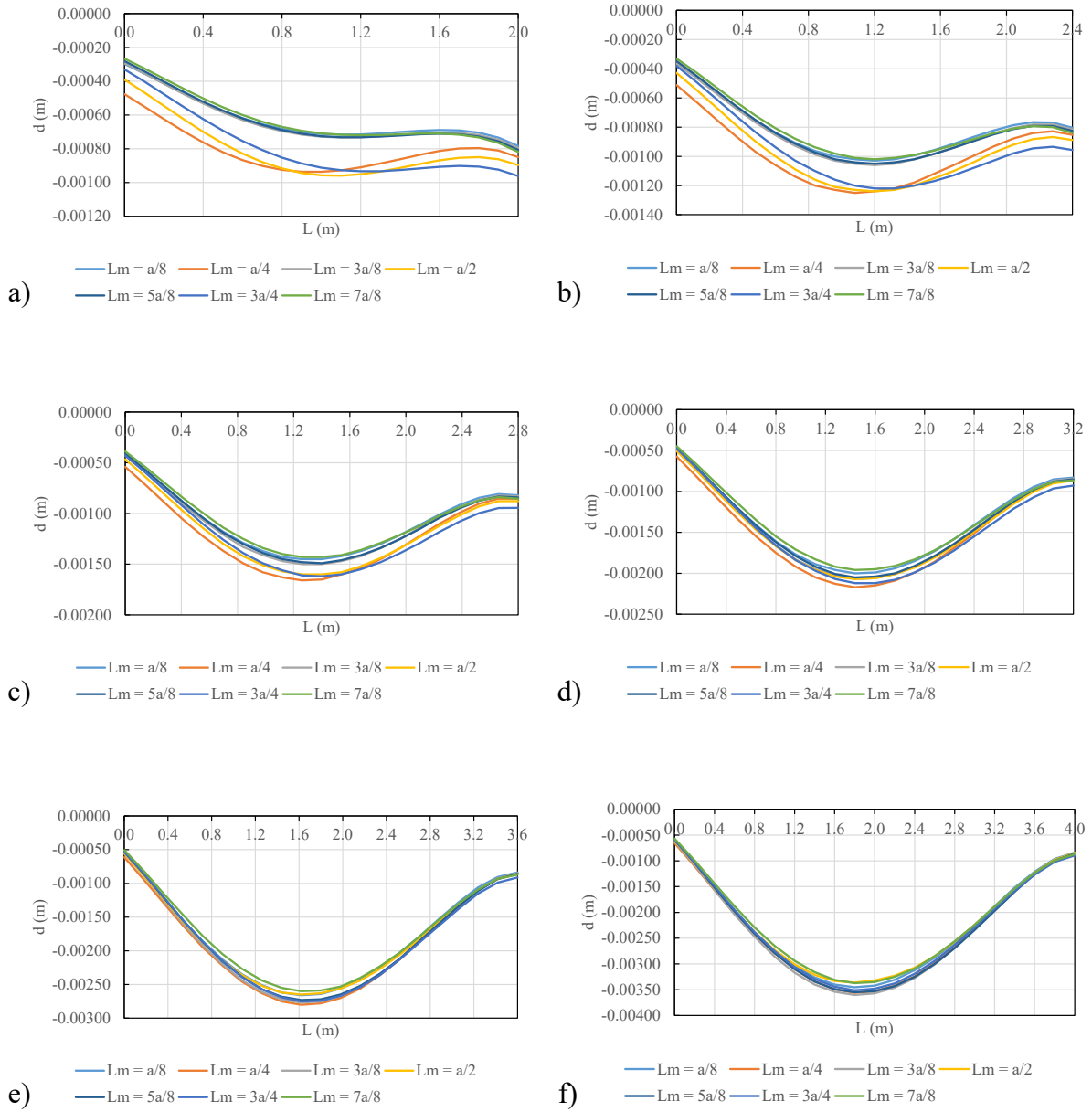


Figura II. 6. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero de borde con un lado largo discontinuo. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

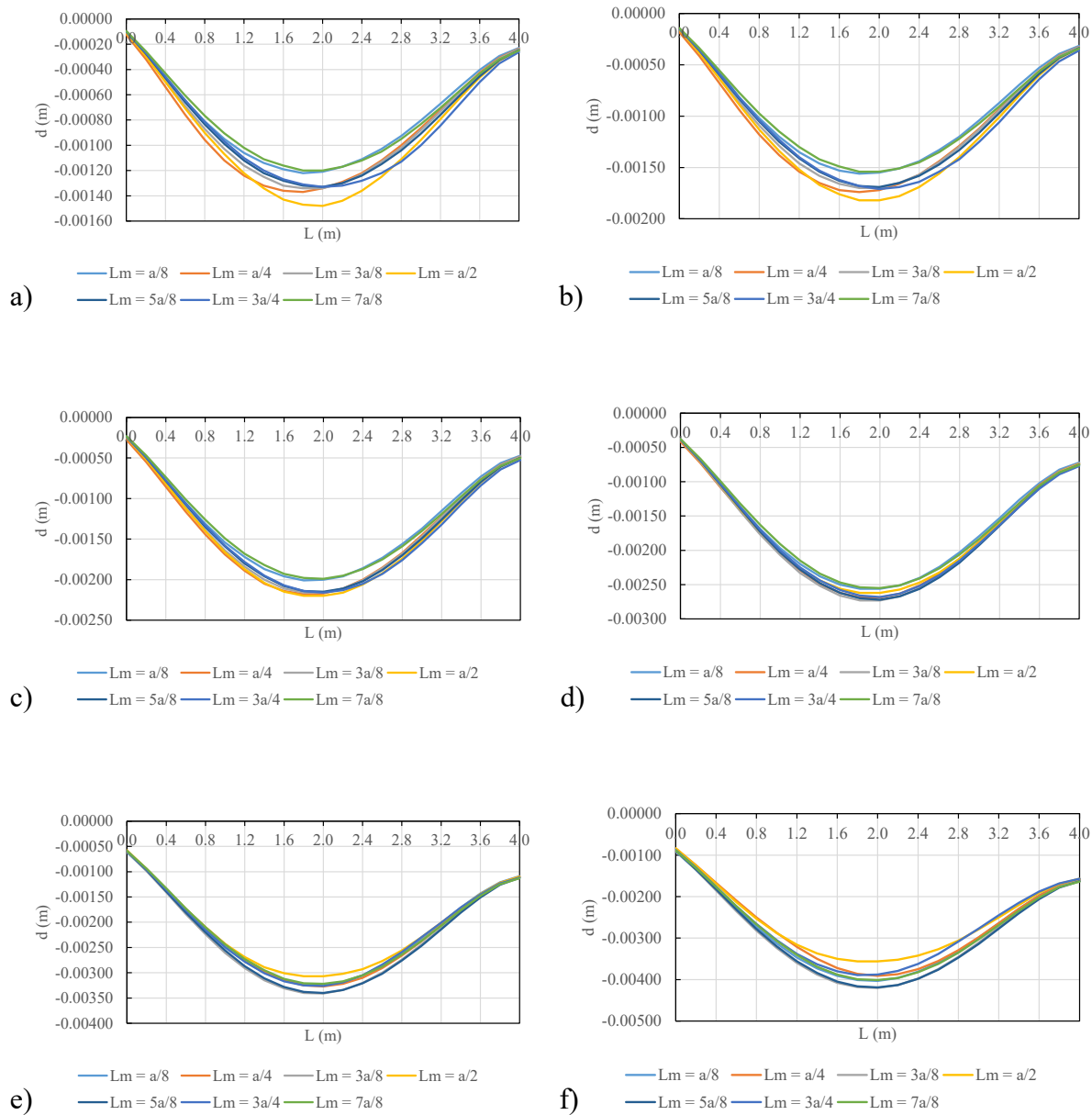


Figura II. 7. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero de esquina. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

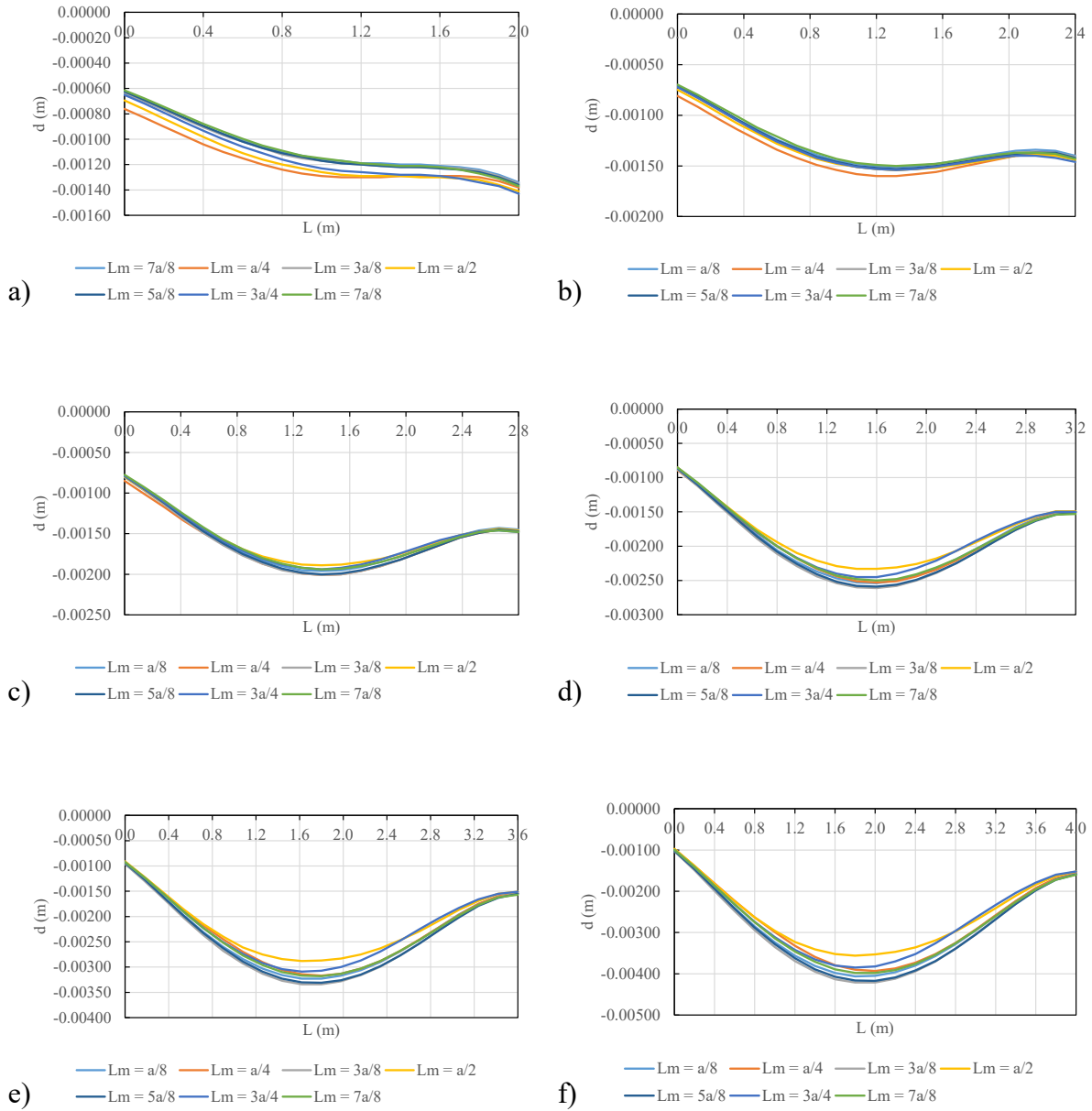


Figura II. 8. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero de esquina. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

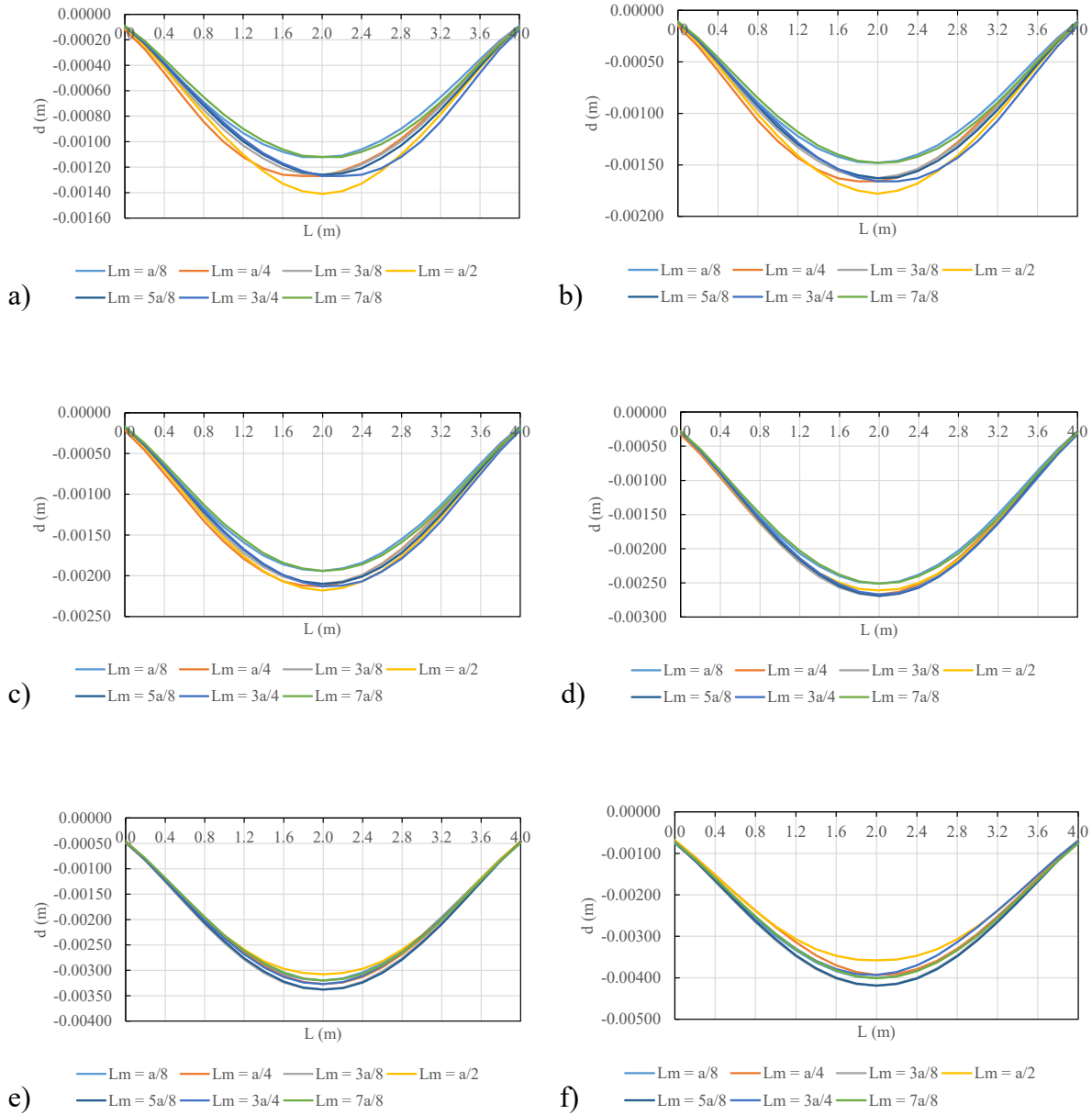


Figura II. 9. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero de extremo con tres bordes discontinuos y un lado largo continuo. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

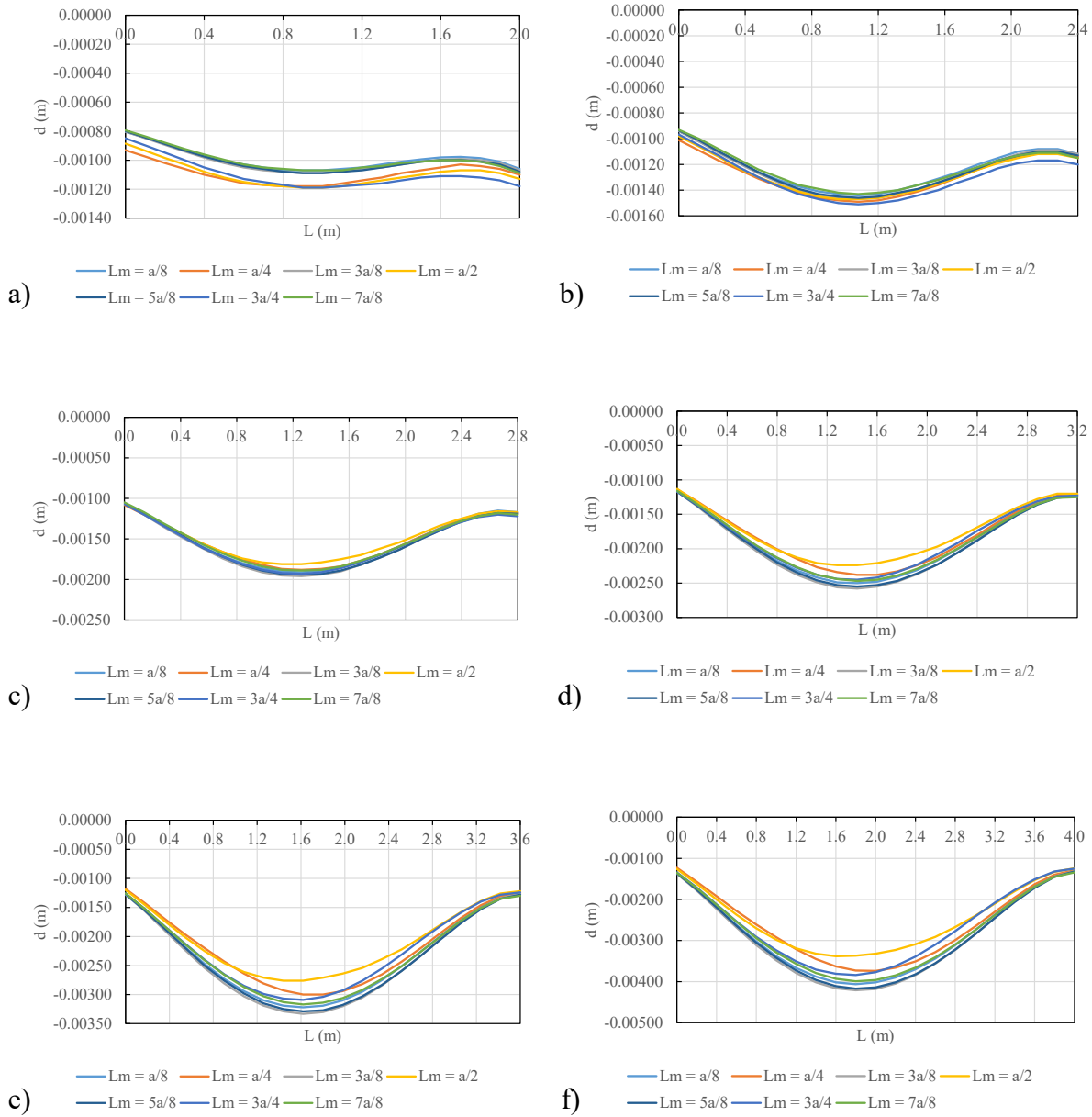


Figura II. 10. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero de extremo con tres bordes discontinuos y un lado largo continuo. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

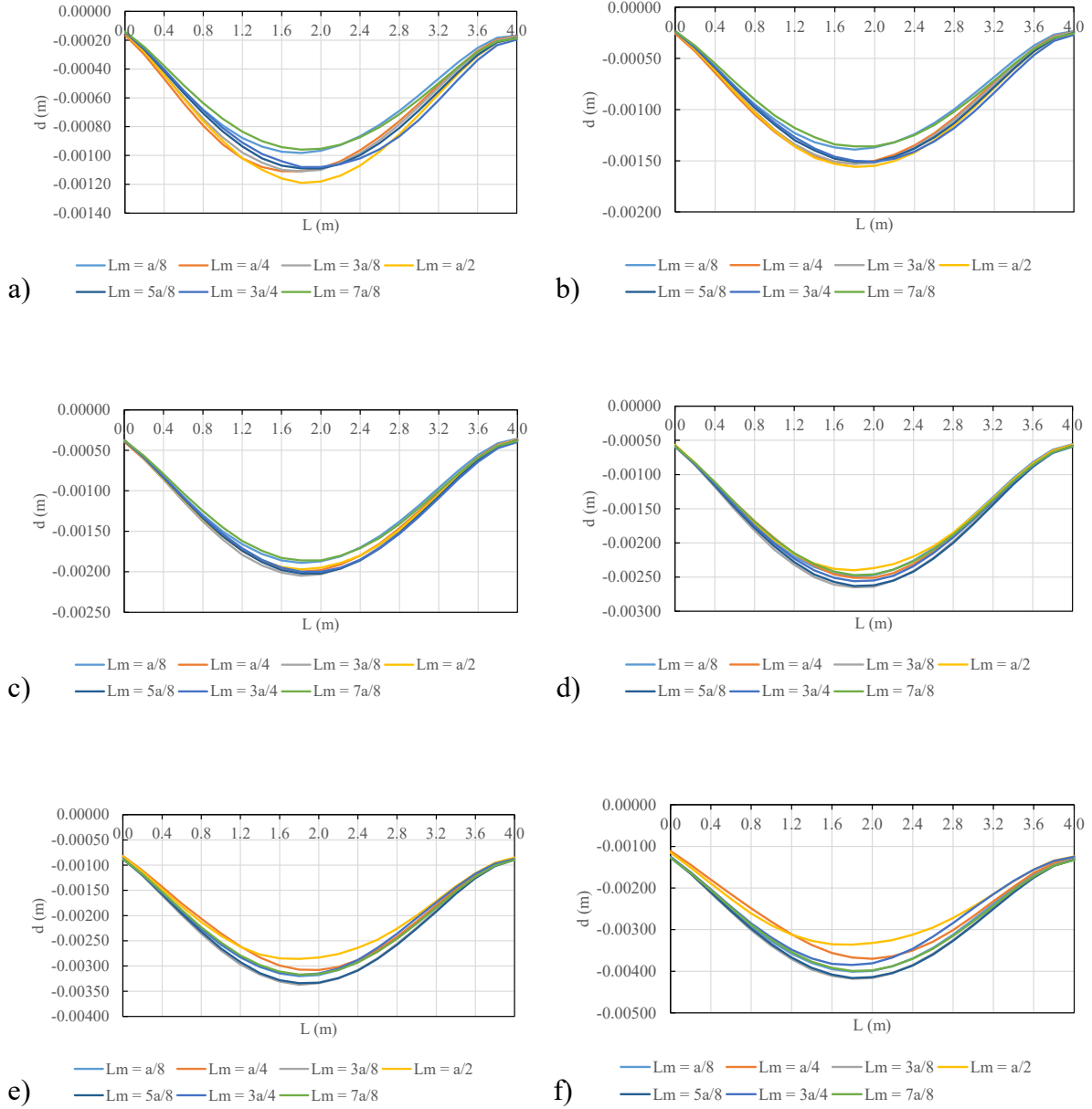


Figura II. 11. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero de extremo con tres bordes discontinuos y un lado corto continuo. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

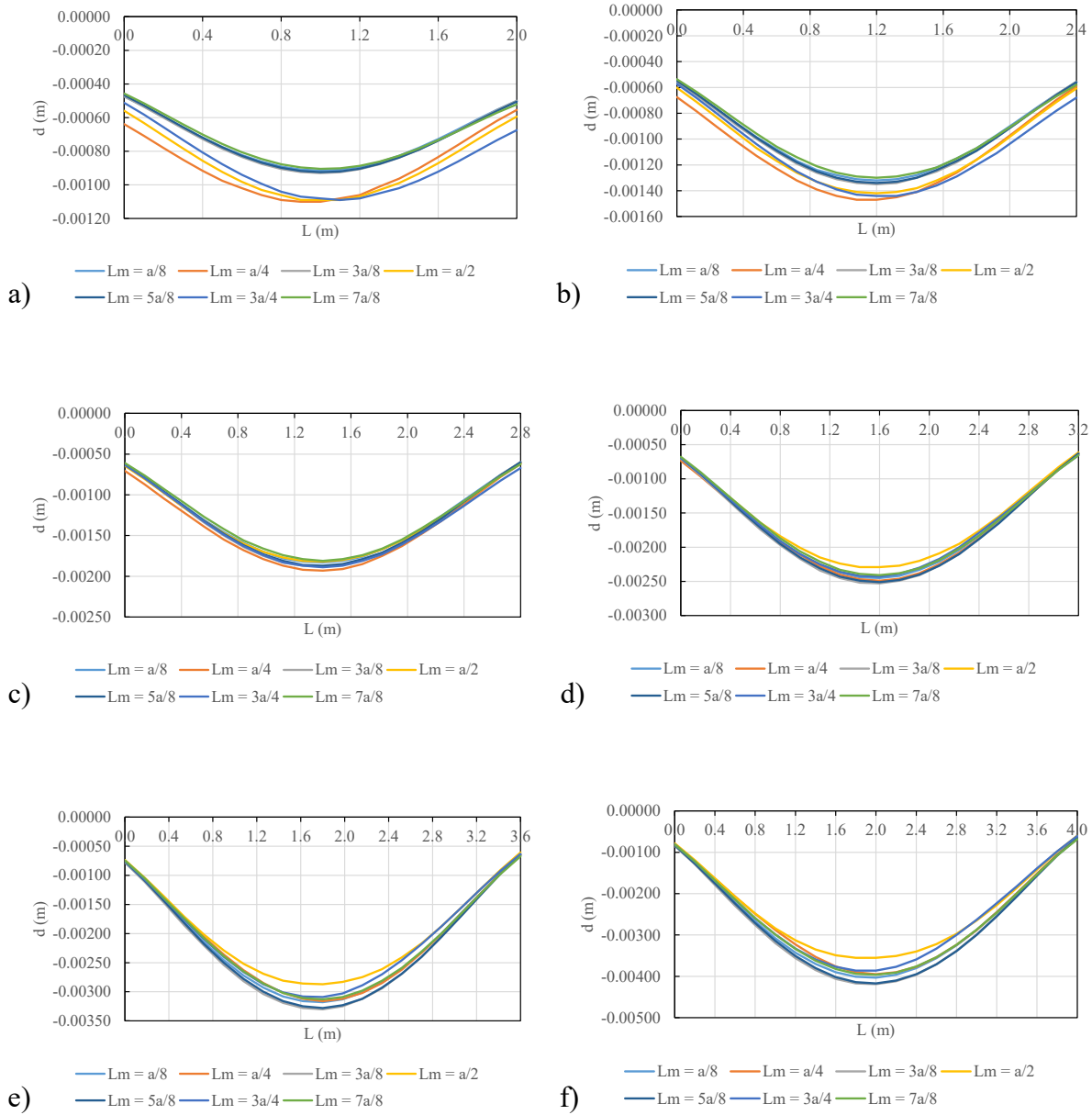


Figura II. 12. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero de extremo con tres bordes discontinuos y un lado corto continuo. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

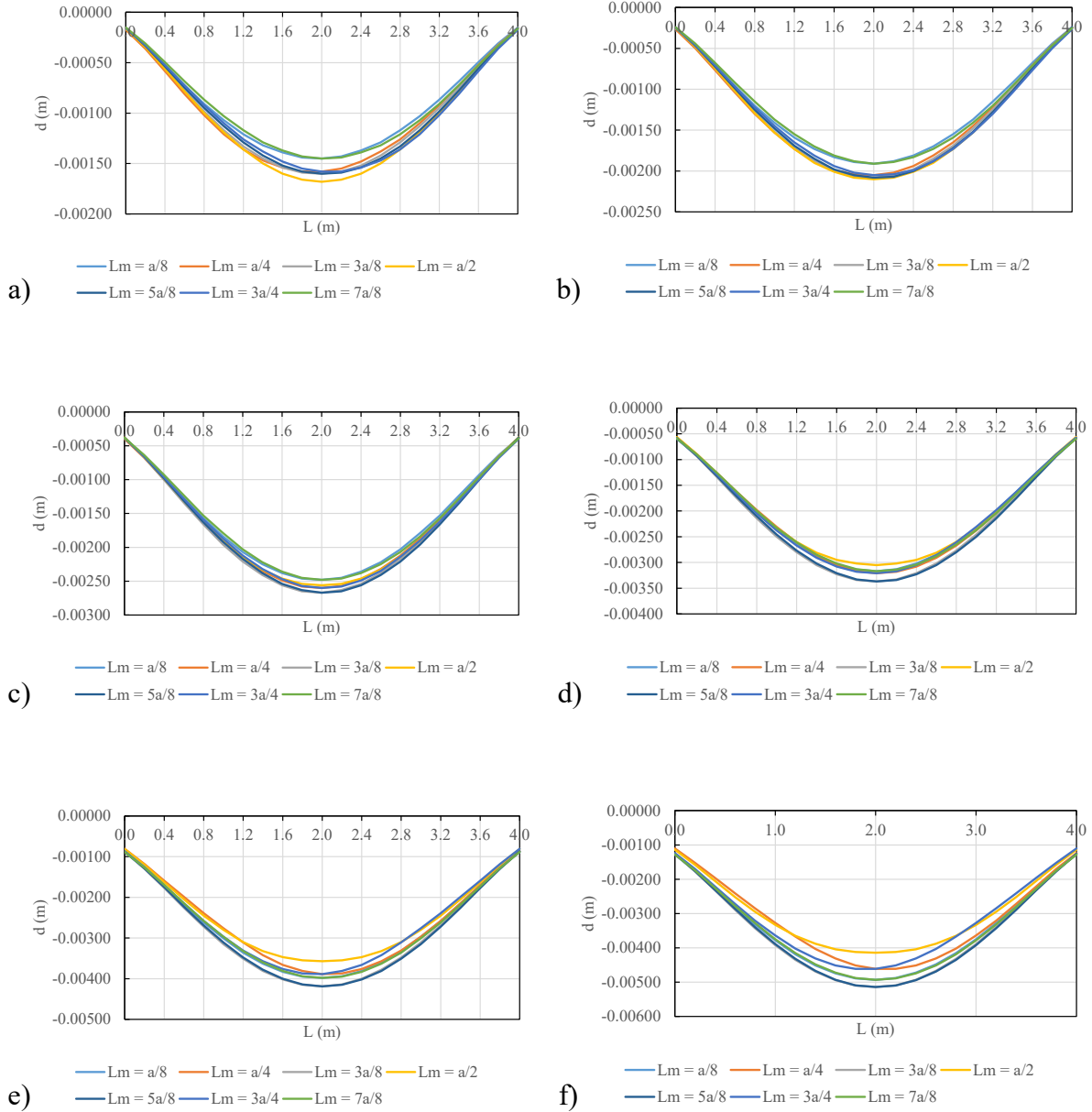


Figura II. 13. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero aislado. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

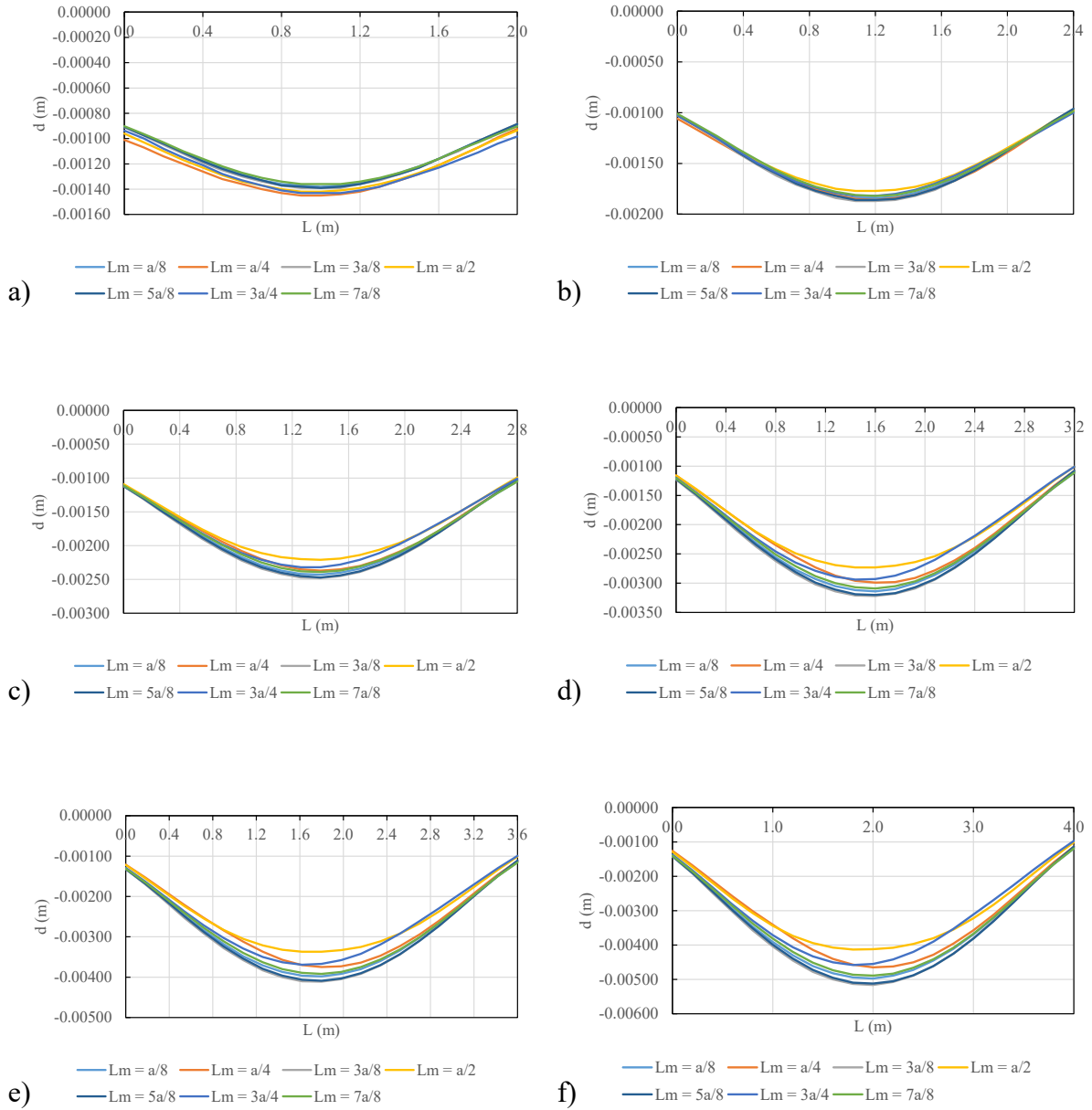


Figura II. 14. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero aislado. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

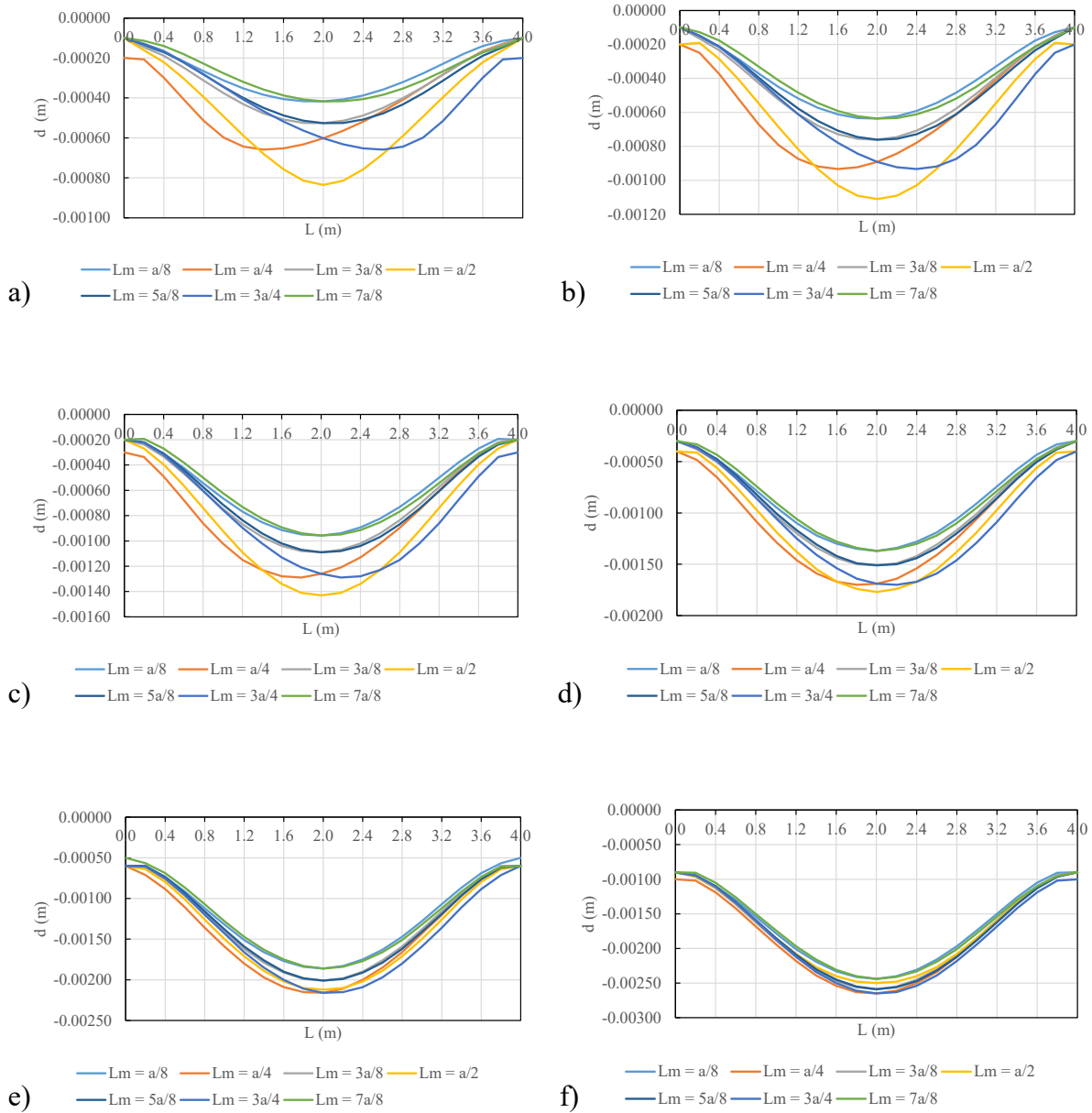


Figura II. 15. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero interior. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

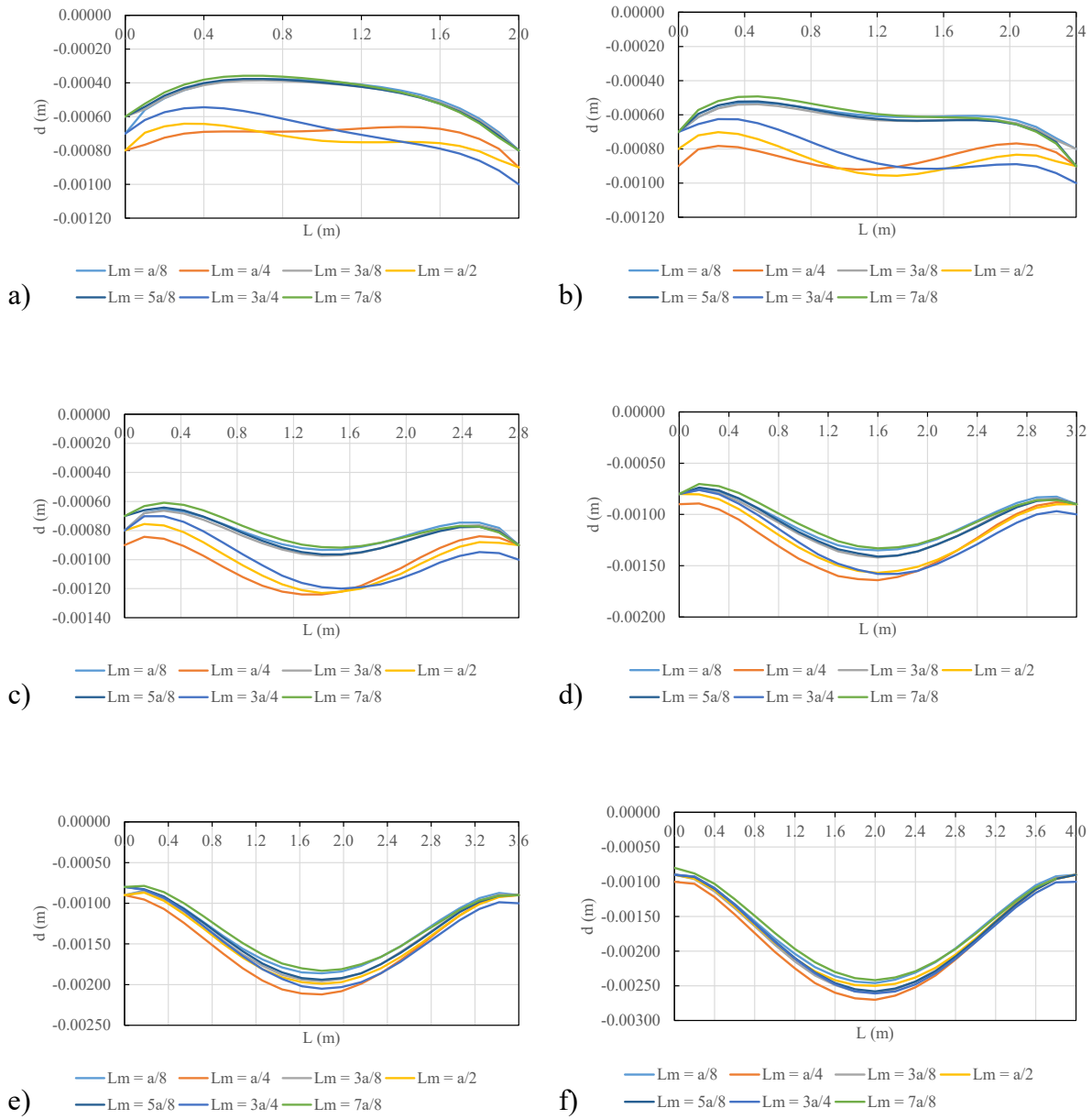


Figura II. 16. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero interior. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

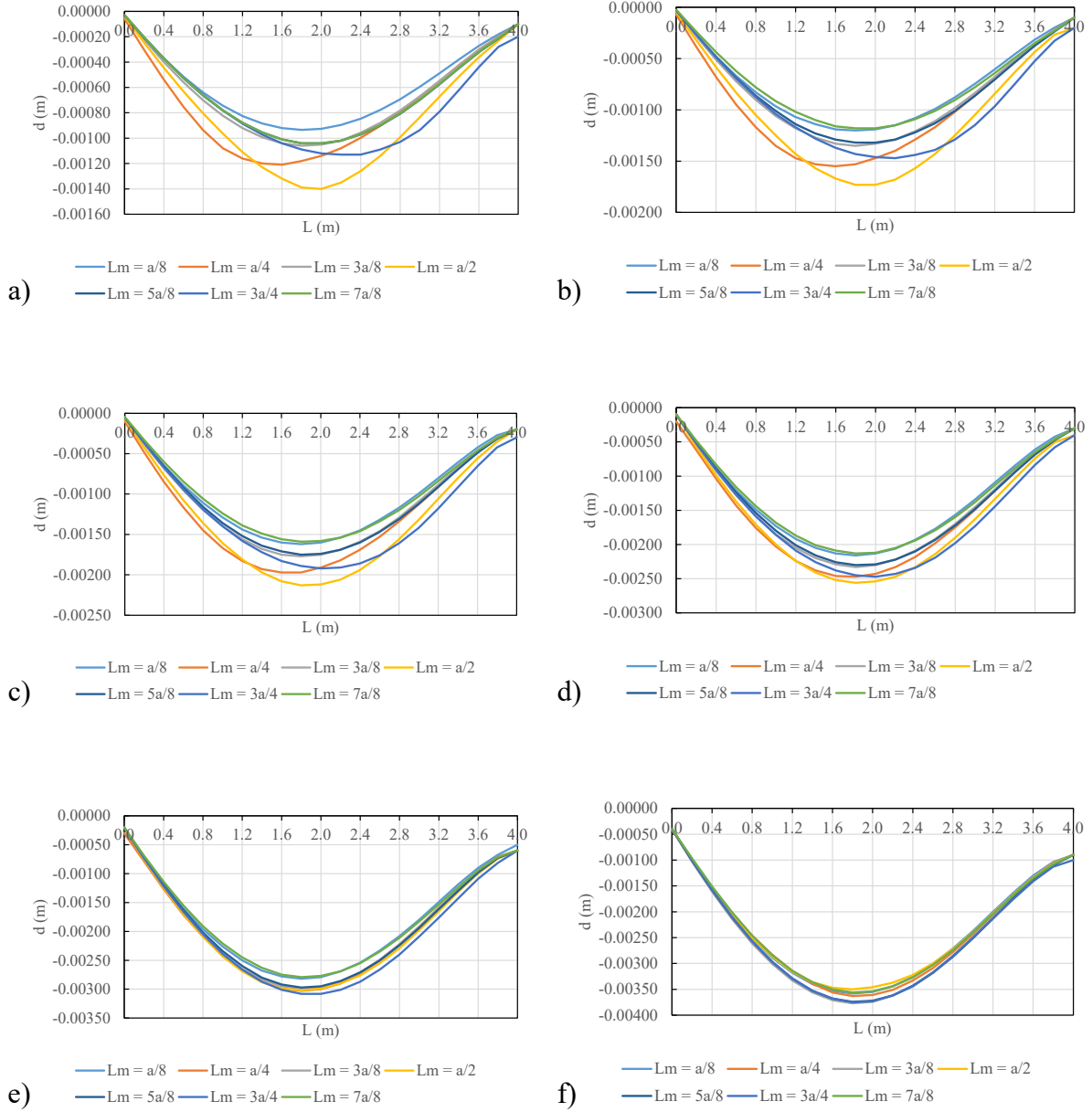


Figura II. 17. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero de borde con un lado corto discontinuo. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

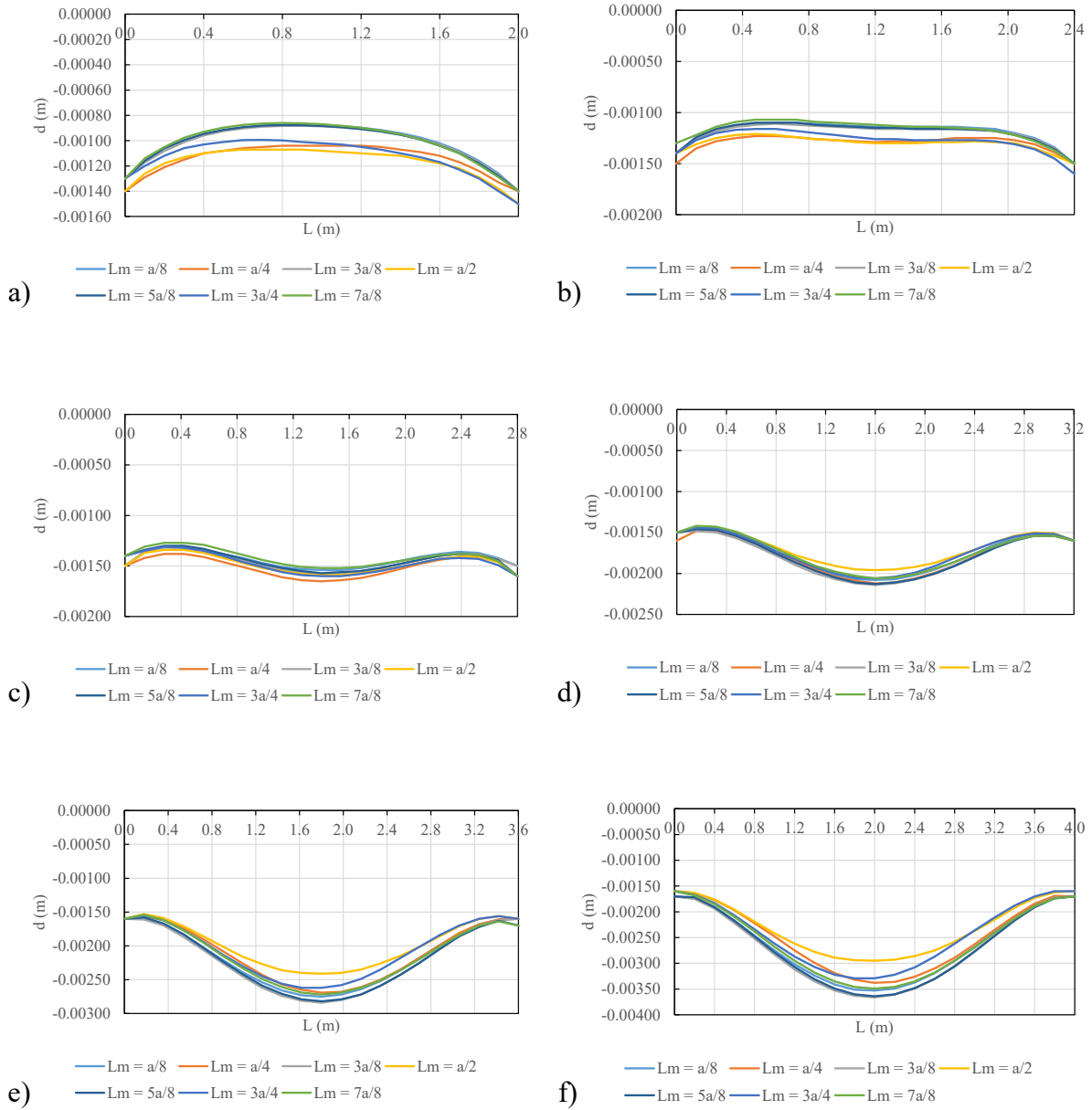


Figura II. 18. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero de borde con un lado corto discontinuo. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

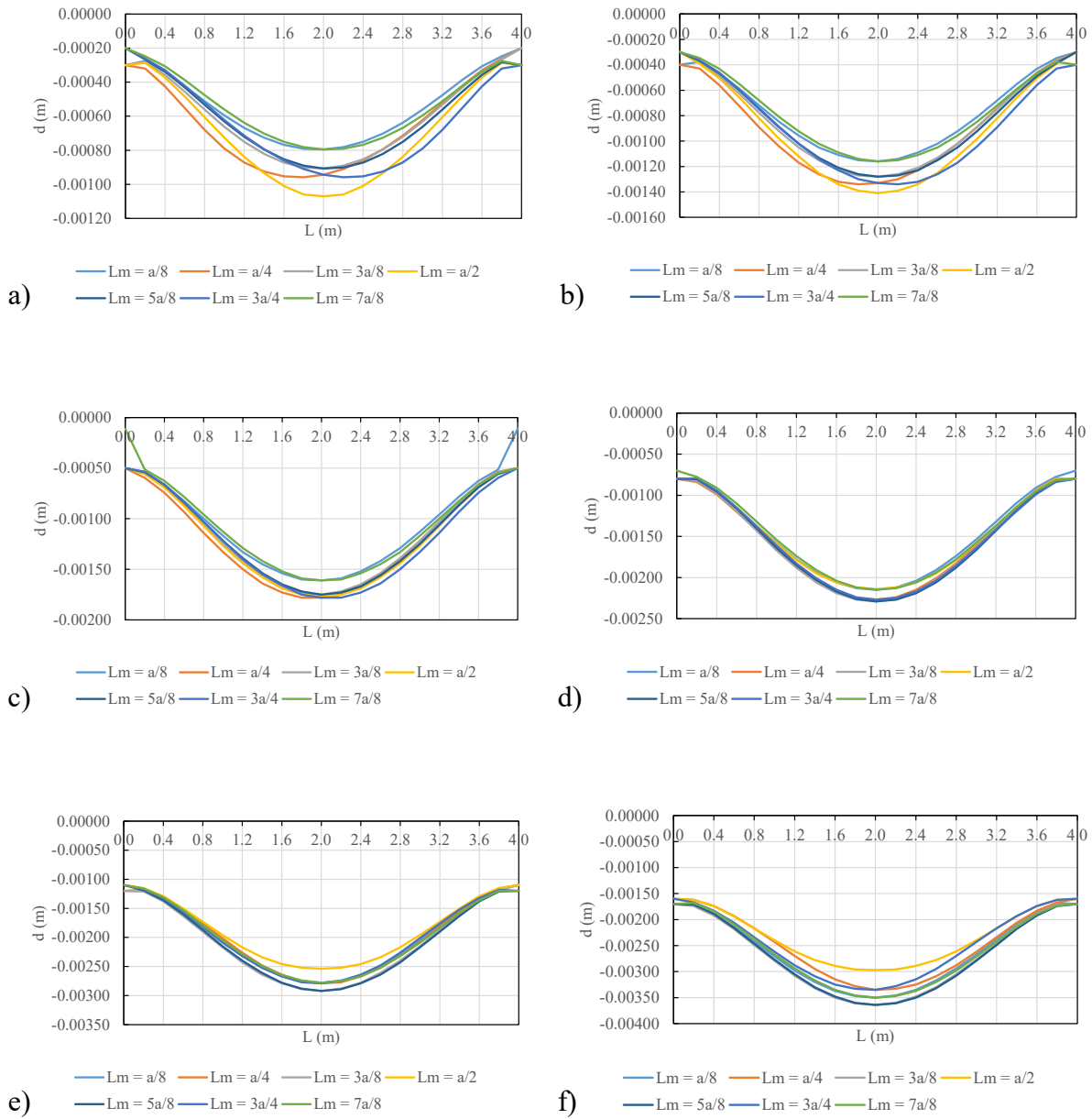


Figura II. 19. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero de borde con un lado largo discontinuo. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

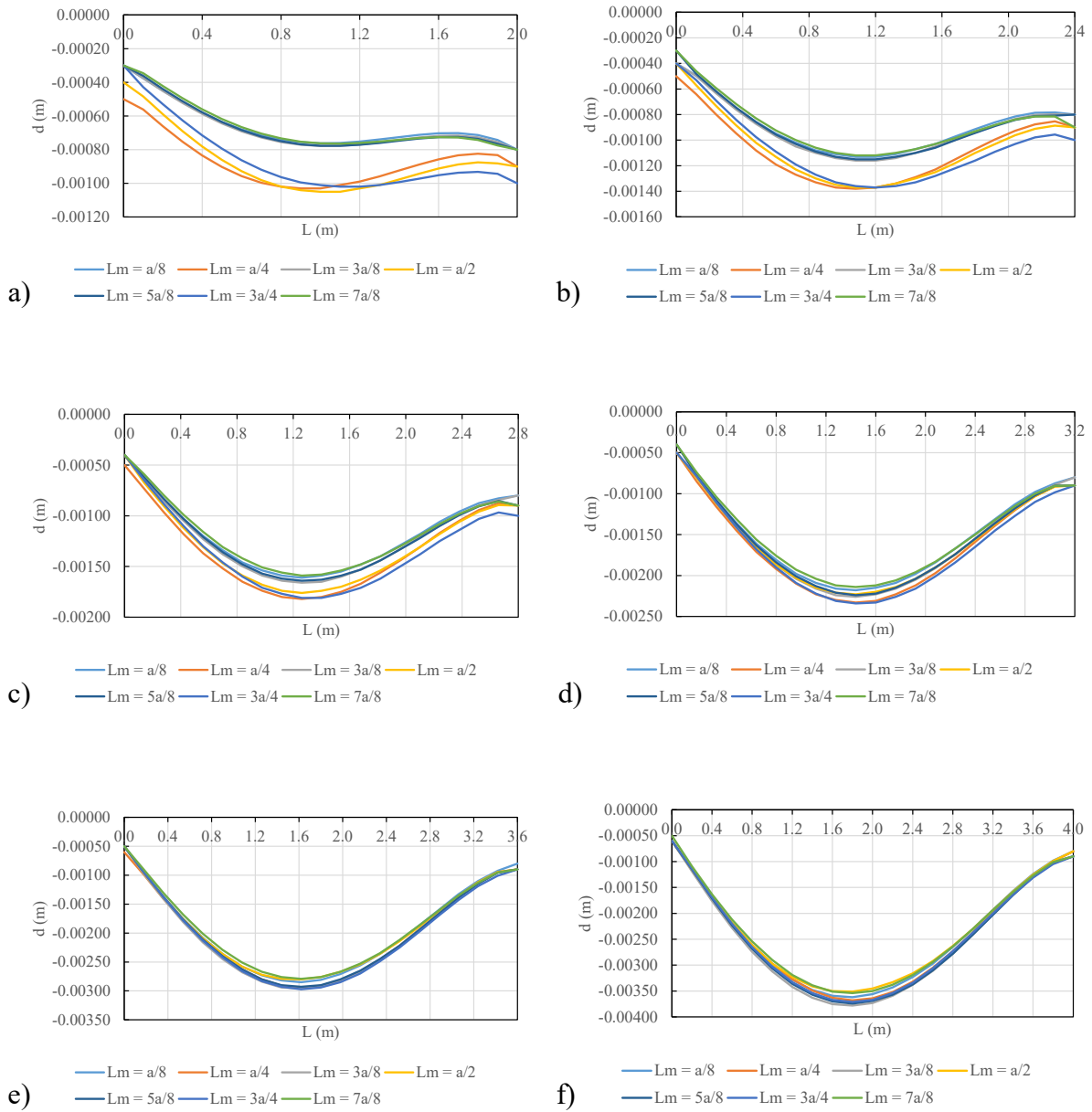


Figura II. 20. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero de borde con un lado largo discontinuo. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

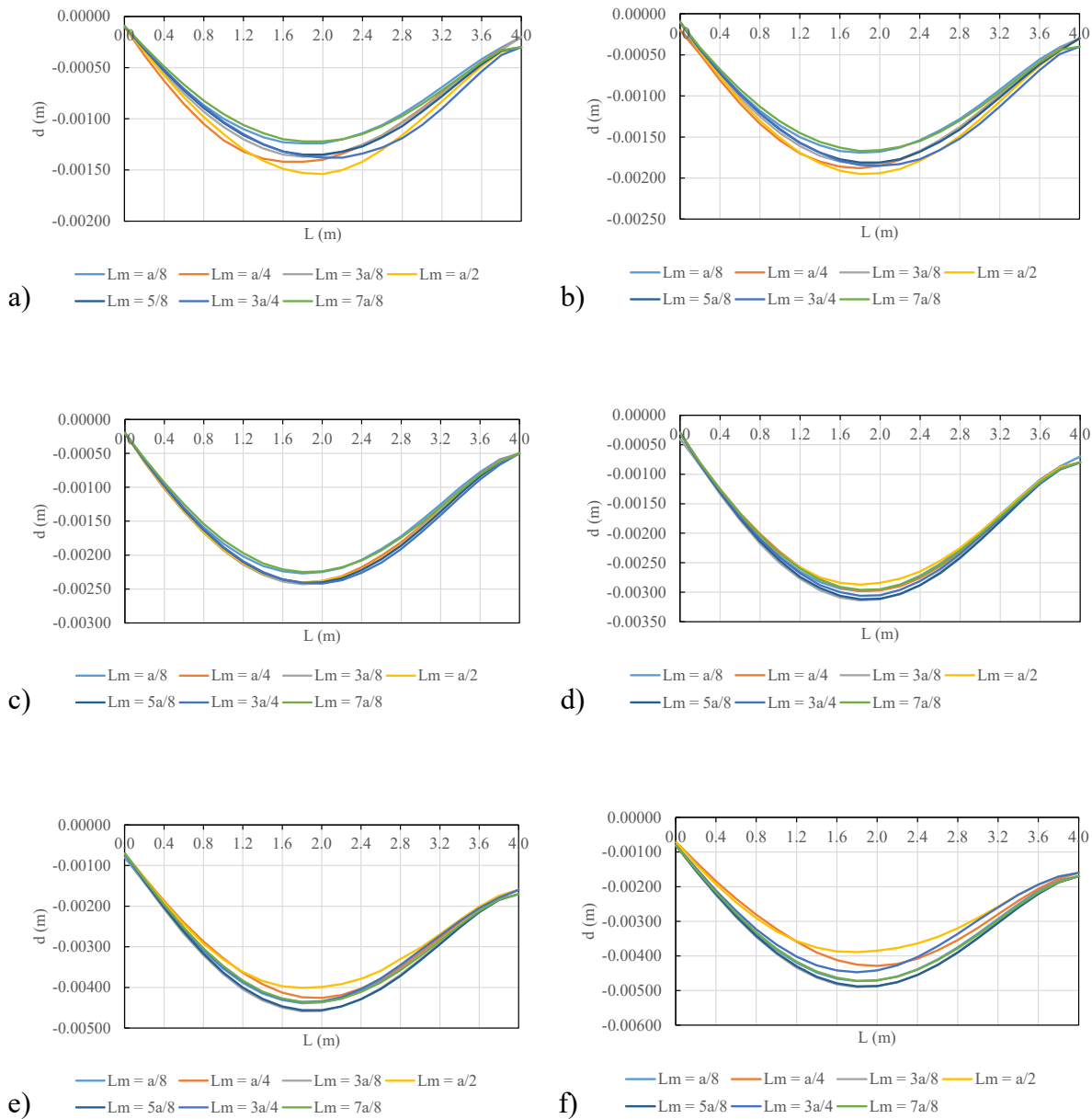


Figura II. 21. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero de esquina. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

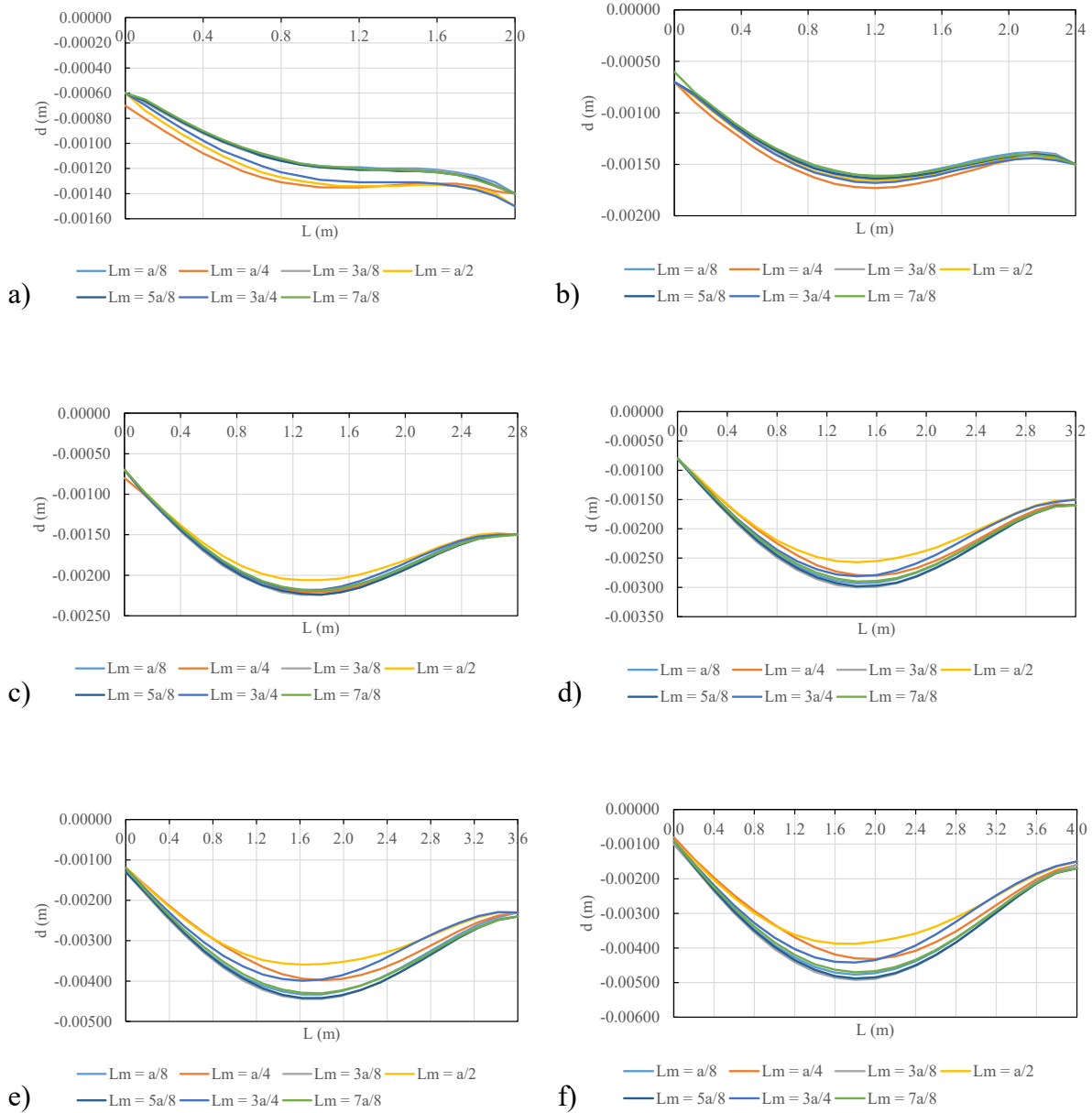


Figura II. 22. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero de esquina. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

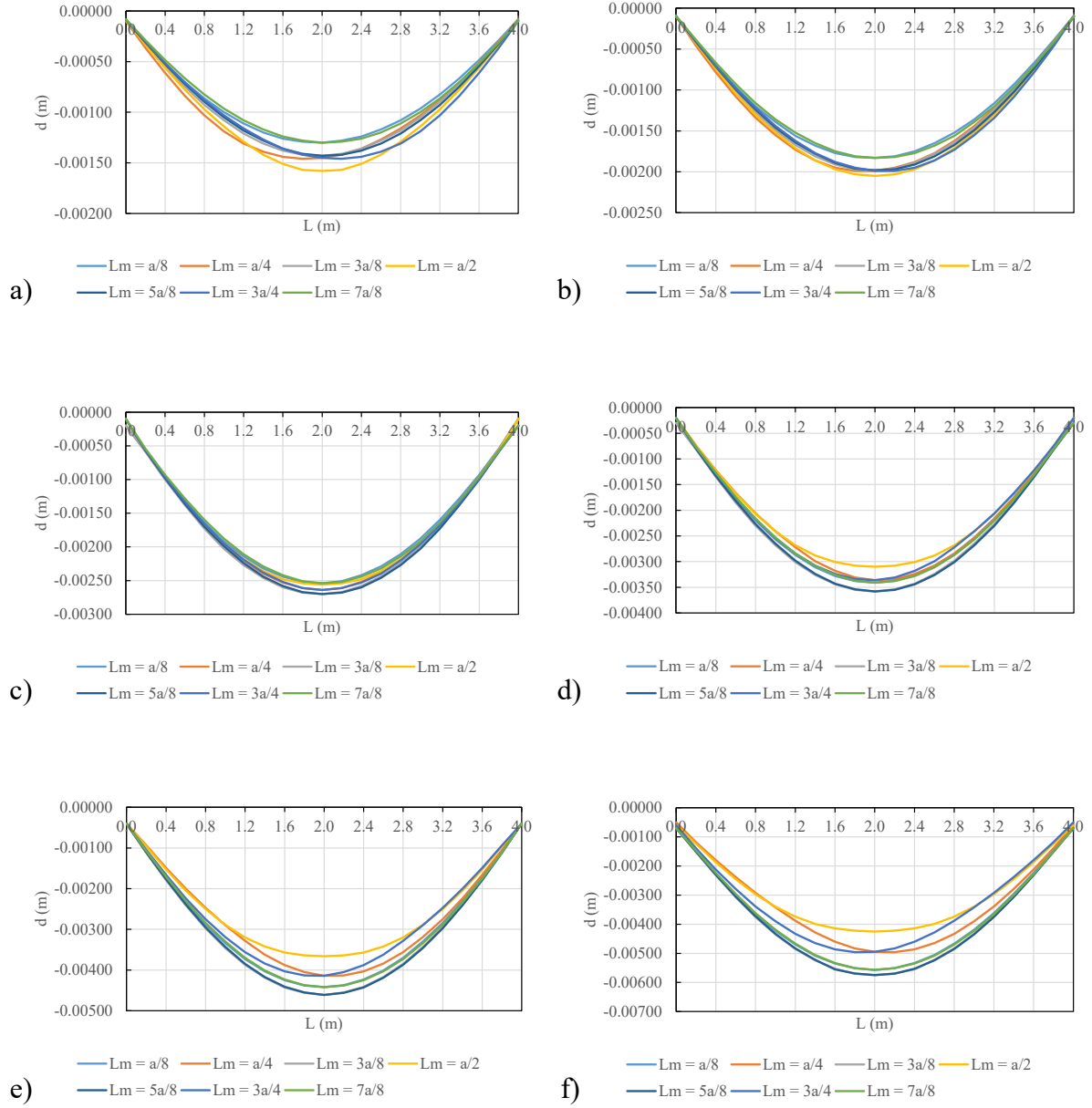


Figura II. 23. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero de extremo con tres bordes discontinuos y un lado largo continuo. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

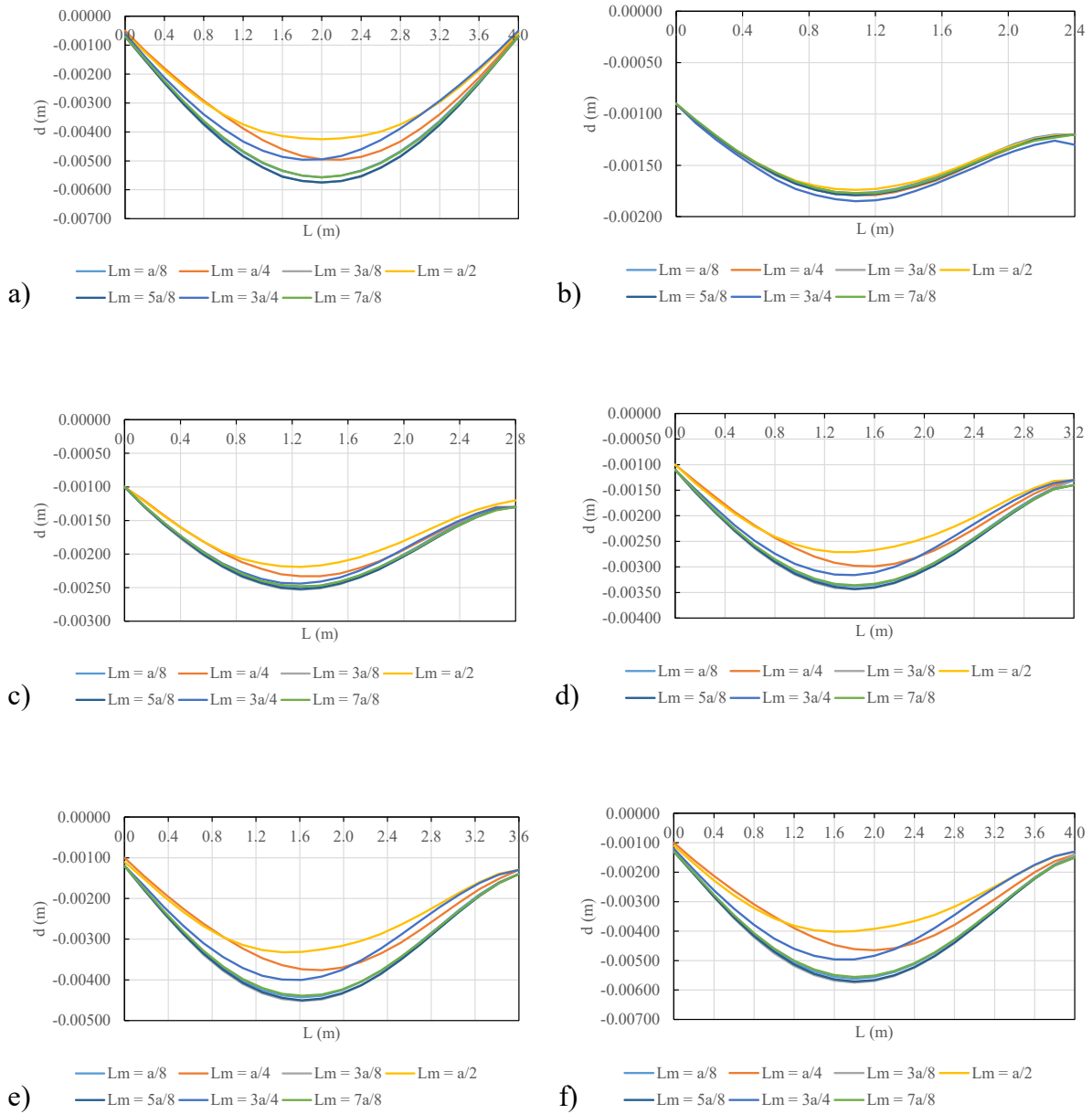


Figura II. 24. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero de extremo con tres bordes discontinuos y un lado largo continuo. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

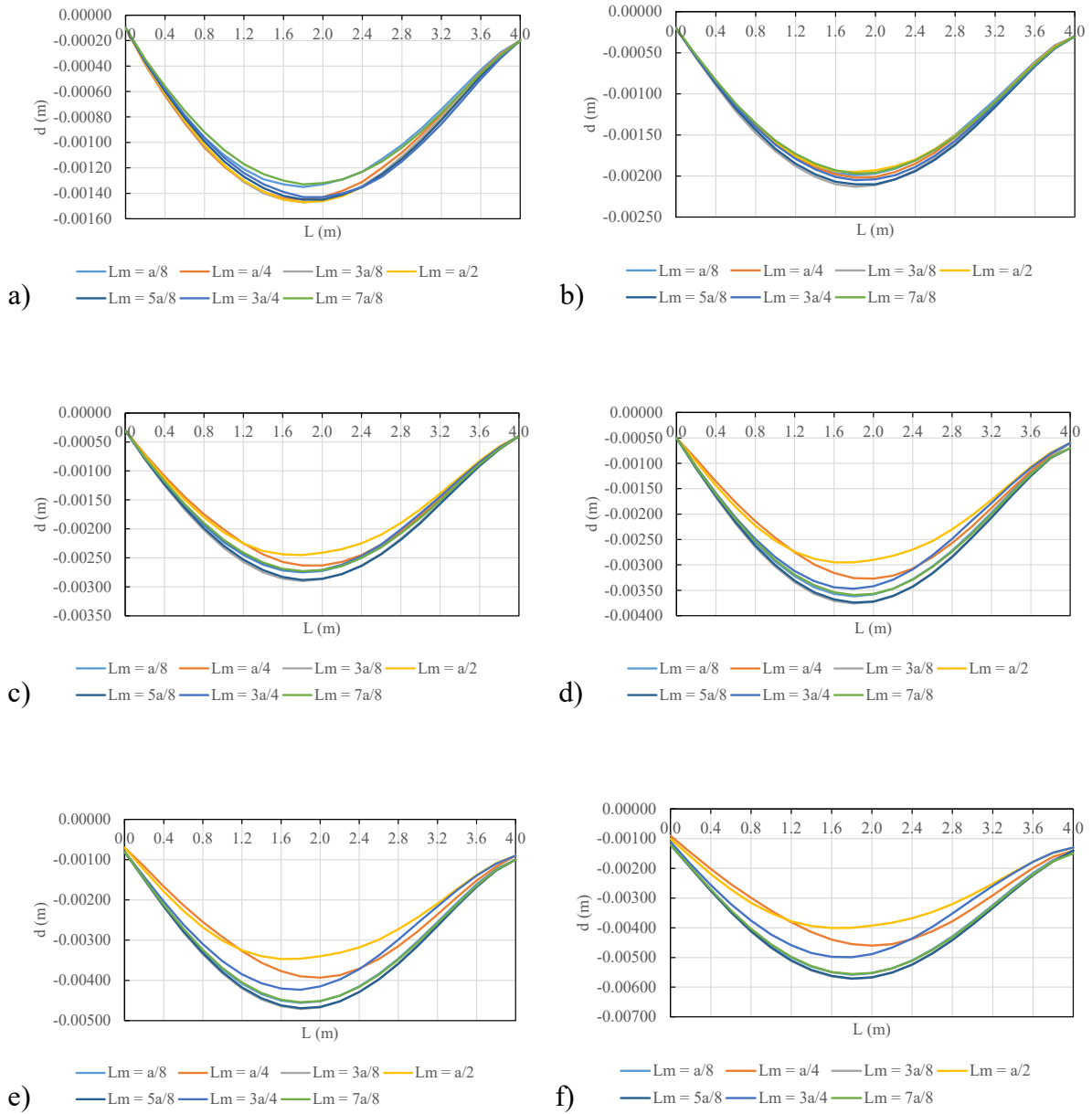


Figura II. 25. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero de extremo con tres bordes discontinuos y un lado corto continuo. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

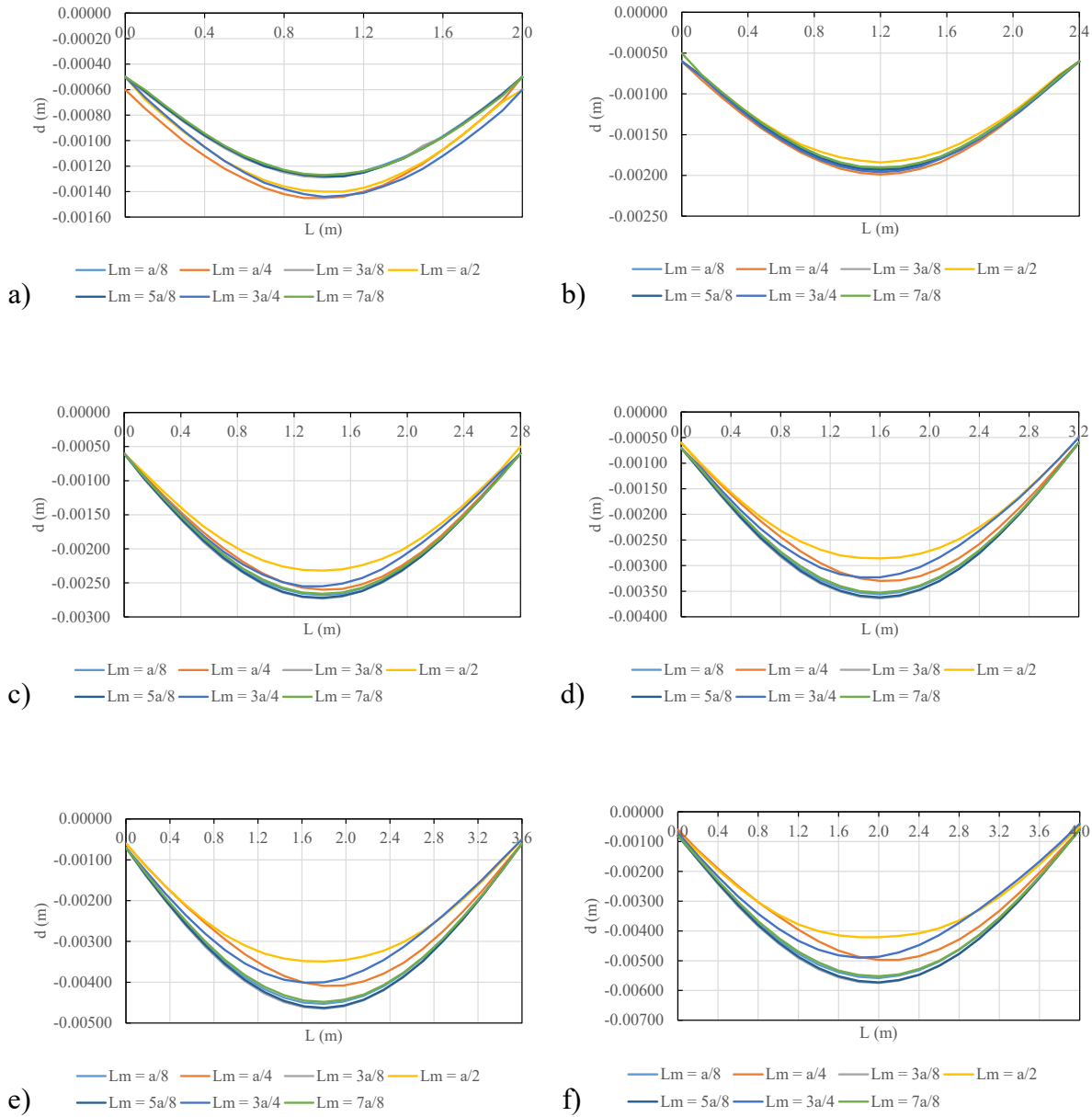


Figura II. 26. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero de extremo con tres bordes discontinuos y un lado corto continuo. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

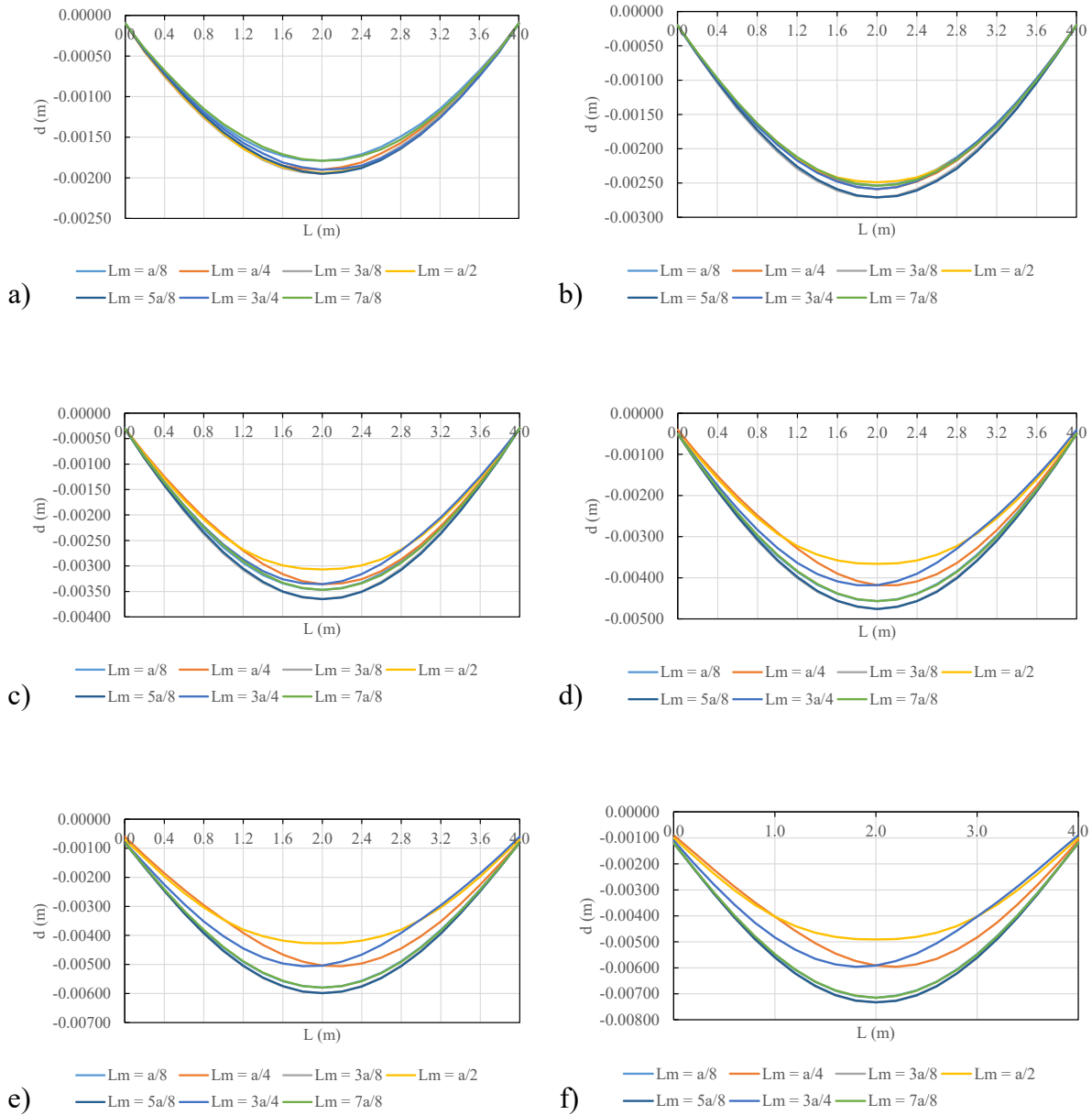


Figura II. 27. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero aislado. Muro colocado paralelo al lado corto. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

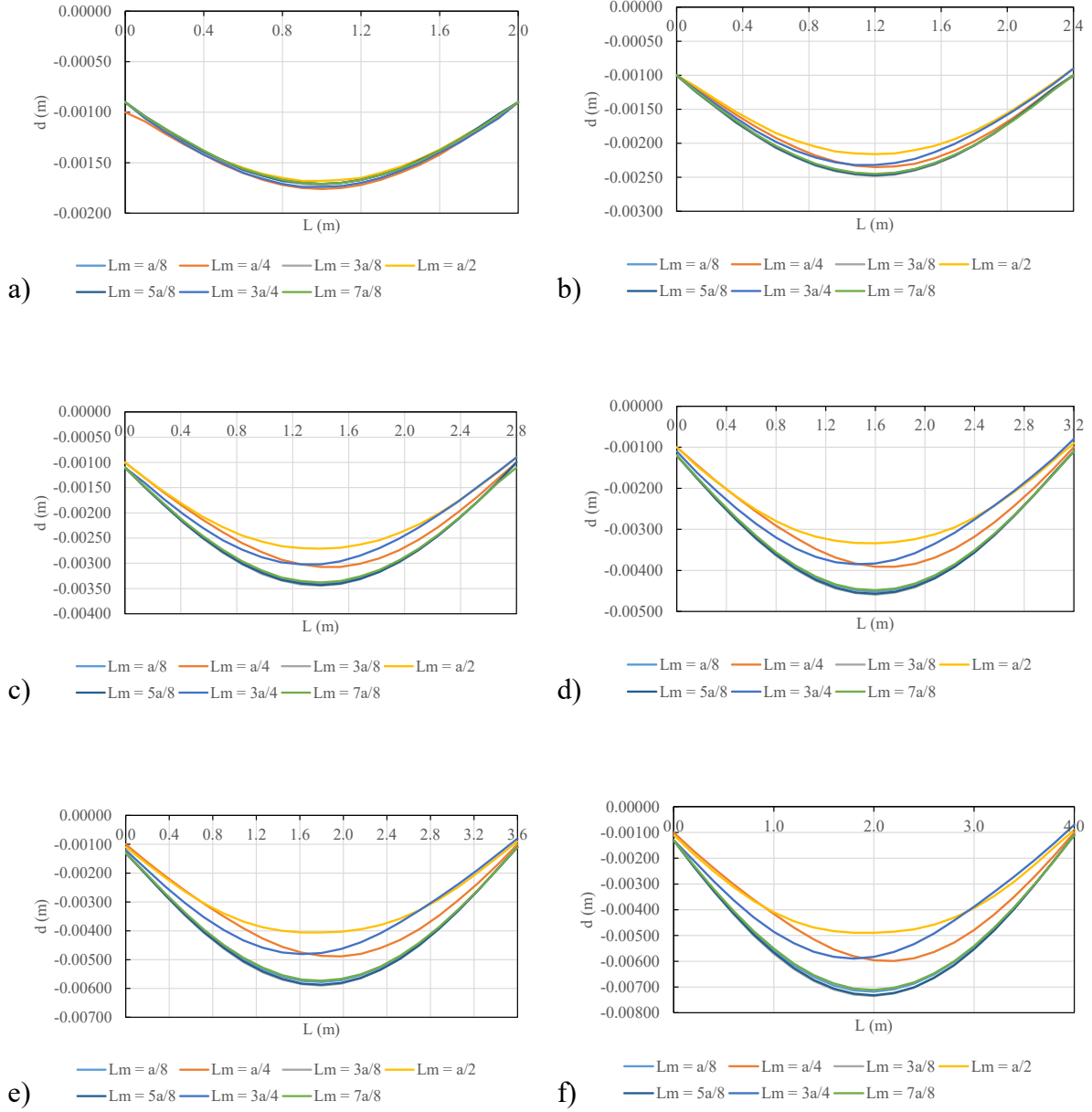


Figura II. 28. Curva de desplazamientos al centro del claro de un tablero aislado. Muro colocado paralelo al lado largo. Losa colada no monolíticamente con sus vigas de apoyo. Relación de lados: a) 0.5, b) 0.6, c) 0.7, d) 0.8, e) 0.9 y f) 1.0.

Anexo III Ejemplo de comparación de factores

III.1 Descripción

Con la finalidad de comparar los factores obtenidos en este trabajo con los factores propuestos actualmente en las NTCC-04, se realizó el diseño de un tablero de esquina que tiene un muro apoyado en su claro paralelo al lado largo. La losa del tablero está colada monolíticamente con sus vigas de apoyo. Las cargas muertas consideradas para el diseño del tablero corresponden a una estructura de uso habitacional, las cuales se muestran en la Tabla III. 1.

Tabla III. 1. Cargas muertas para el ejemplo de diseño.

Carga Muerta	
Descripción	Unidad (Kg/m ²)
Losa 12 cm de espesor	288
Azulejo	15
Pegazulejo	30
Firme 5 cm de espesor	120
Plafond de yeso	23
Carga adicional	40
Carga Muerta Total (Wm)	516

Para determinar las cargas máximas actuantes en el tablero se utilizaron las combinaciones y los factores de carga propuestos en las NTCA-04. La Tabla III. 2 muestra detalladamente las combinaciones de carga para el diseño del tablero.

Tabla III. 2. Combinaciones de carga para el ejemplo de diseño.

Combinaciones de carga NTCA-2004	
Descripción	Unidad (Kg/m²)
Total de Carga Muerta W _m	516
C.V. Instantánea W _{inst}	90
C.V. Máxima W _{vmáx}	170
Combinaciones de carga	
1.4W _m + 1.4W _{inst}	848.4
1.4W _m + 1.4W _{vmáx}	960.4

Se diseñó un tablero rectangular con dimensiones de 3.6m y 4m en sus lados corto y largo, respectivamente. De las dimensiones del tablero se obtiene una relación de lado corto a largo de 0.9. Se consideró que sobre el tablero de losa se coloca un muro de mampostería de tabique rojo recocido paralelo al lado largo de 2.5m de altura y 18cm de espesor. Las propiedades de los materiales se describen en la Tabla III. 3.

Tabla III. 3. Propiedades de los materiales.

Mampostería	
Tabique de barro recocido	
Peso volumétrico γ (Kg/m ³)	1500
Resistencia a compresión f_m^* (Kg/cm ²)	15
Módulo de Elasticidad E (Kg/m ²)	52500000
Relación de Poisson ν	0.25
Mortero	
Peso volumétrico γ (Kg/m ³)	1500

La Tabla III. 4 describe la geometría del muro, así como el peso por unidad de longitud. En la Tabla 2. 2 se establecen los factores de las NTCC-04, que para este ejemplo de diseño, con la relación de lado corto a lado largo de 0.9, se obtuvo por interpolación lineal un factor de 1.65. El peso total del muro se multiplicó por este factor.

Tabla III. 4. Carga lineal debida al muro de mampostería.

Carga lineal. Muro de mampostería	
Altura h (m)	2.5
Espesor del muro t (m)	0.14
Espesor de aplanado t_a (m)	0.02
Peso de la mampostería w_{mamp} (Kg/m)	525
Peso del mortero $w_{mortero}$ (Kg/m)	150
Peso del muro por carga lineal (Kg/m)	675

III.2 Determinación de la carga de diseño

Para el diseño del tablero se tiene una carga última debida a la losa de $W_{ulosa} = 960.4 \text{ kgf/m}^2$ y una carga lineal debida al muro de $W_{muro} = 675 \text{ kgf/m}$. Para obtener la carga uniforme equivalente debida al muro, se obtuvo la carga distribuida debida al muro y se multiplicó por el factor de 1.65. Esta carga equivalente se afectó también por un factor de carga de 1.4, con lo que se tiene como resultado una carga equivalente última debida al muro de $W_{umuro} = 433.125 \text{ kgf/m}^2$. La carga de diseño del tablero es entonces la suma de las cargas distribuidas debidas a la losa y el muro, de $w = 1393.525 \text{ kgf/m}^2$.

III.3 Distribución de momentos en la franja corta (muro colocado paralelo al lado largo)

Una vez obtenida la carga última de diseño, se determinó la distribución de momentos en la franja central del tablero con los factores propuestos actualmente en las NTCC-04 y se compararon con los obtenidos con los factores propuestos en este trabajo. En la Figura III. 1 se observa que existe diferencia significativa en la distribución de momentos, pues los momentos obtenidos con los factores propuestos son incluso de más del doble que los que se obtienen con los factores propuestos en las NTCC-04.

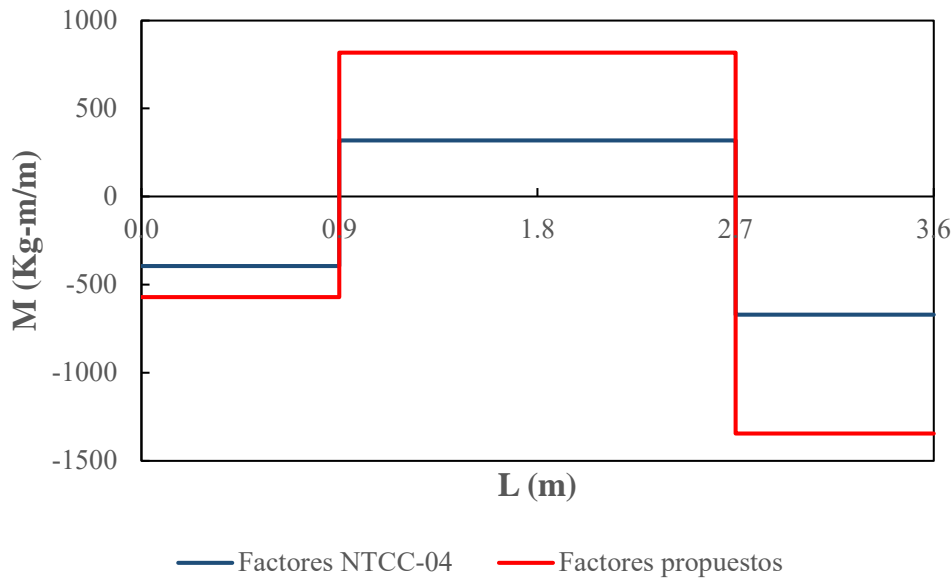


Figura III. 1. Distribución de momentos en la franja central corta de un tablero de esquina con relación de lados de 0.9.

Para determinar la separación del acero de refuerzo en el tablero, se consideró en el diseño que la resistencia a la compresión del concreto es $f'_c = 250 \text{ kgf/cm}^2$ y para el acero de refuerzo, se consideraron varillas del #3 con esfuerzo de fluencia $f_y = 4200 \text{ kgf/cm}^2$.

En la Tabla III. 5 se comparan los resultados obtenidos, se observa que la diferencia significativa de momentos requiere una menor separación del acero de refuerzo en la zona de momento positivo y en la zona de momento negativo en bordes interiores. Se observa una diferencia hasta del 50% en la separación del acero de refuerzo. Se valida entonces que la distribución de momentos modifica la cantidad del acero de refuerzo cuando se utilizan los factores de carga propuestos.

Tabla III. 5. Comparación de resultados en la franja corta. Factores NTCC-04 y factores propuestos.

Momento	Momentos en la franja central (kgf-m/m)		Separación del acero de refuerzo (m)		Diferencia de momentos %
	NTCC-04	Propuestos	NTCC-04	Propuestos	
Negativo en bordes discontinuos	-395.516	-570.6	0.37	0.37	30.68
Positivo	317.857	817.815	0.37	0.28	61.13
Negativo en bordes interiores	-670.029	-1345.275	0.34	0.17	50.19

III.4 Distribución de momentos en la franja larga (muro colocado paralelo al lado corto)

Análogamente se calculó la distribución de momentos en la franja larga cuando el muro se coloca en el tablero paralelo al lado corto. La Figura III. 2 muestra que existe una diferencia significativa en la distribución de momentos cuando se utilizan los factores propuestos.

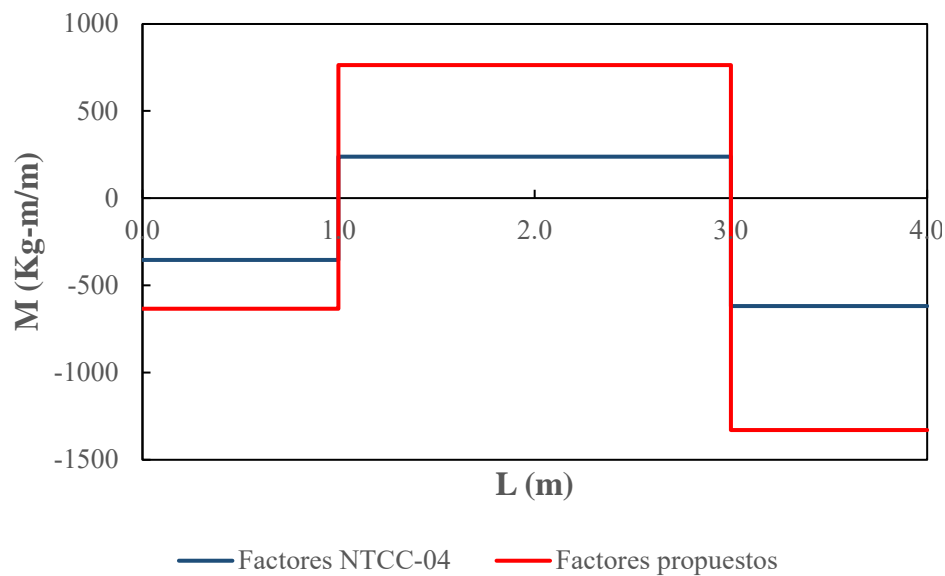


Figura III. 2. Distribución de momentos en la franja central larga de un tablero de esquina con relación de lados de 0.9.

En la Tabla III. 6 se comparan los resultados y se observa que la diferencia de momentos requiere menor separación del acero de refuerzo en la zona de momento positivo y negativo en bordes interiores.

Tabla III. 6. Comparación de resultados en la franja larga. Factores NTCC-04 y factores propuestos.

Momento	Momentos en la franja central (kgf-m/m)		Separación del acero de refuerzo (m)		Diferencia de momentos
	NTCC-04	Propuestos	NTCC-04	Propuestos	%
Negativo en bordes discontinuos	-354.167	-634.842	0.38	0.36	44.21
Positivo	237.258	763.305	0.38	0.3	68.92
Negativo en bordes interiores	-618.933	-1329.883	0.37	0.17	53.46

Finalmente, en la Figura III. 3 se presentan los croquis de armado del tablero, se observa que la distribución de momentos modifica la cantidad del acero de refuerzo cuando se utilizan los factores de carga propuestos.

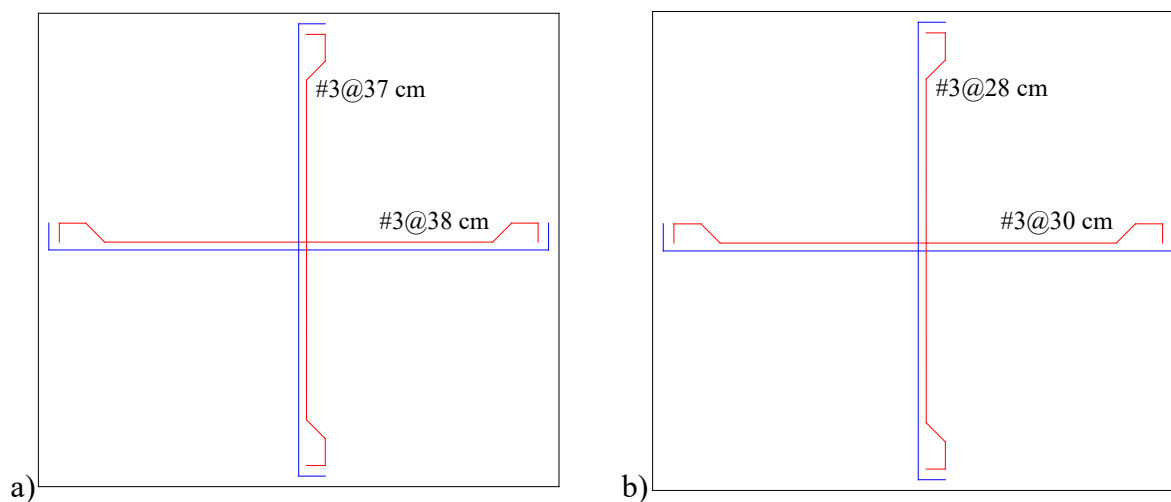


Figura III. 3. Croquis de armado del tablero: a) con factores NTCC-04 y b) con factores propuestos.

